

# Visuelle Verarbeitung von Gesichtern bei binokularem Wettstreit: Psychophysik und Elektrophysiologie

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
des Fachbereichs Humanmedizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Evelyn Eger  
aus Chemnitz

Gießen, 2000

Aus der medizinischen Betriebseinheit Physiologisches Institut

Leiter: Prof. Dr. Ch. Baumann  
des Klinikums der Justus-Liebig-Universität Gießen

Gutachter: Prof. Dr. W. Skrandies

Gutachter: PD Dr. D. Dralle

Tag der Disputation: 18.05.2001

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1	Gehirn . . . . .	3
2.1.1	Allgemeiner Aufbau . . . . .	3
2.1.2	Visuelles System . . . . .	7
2.2	Methodische Grundlagen . . . . .	11
2.2.1	Elektroenzephalogramm . . . . .	11
2.2.2	Evozierte Potentiale . . . . .	14
2.2.3	Topographische Darstellung . . . . .	16
2.2.4	Quantitative Auswertung und Datenreduktion . . . . .	18
2.2.5	Möglichkeiten und Grenzen . . . . .	19
2.3	Binokularer Wettstreit . . . . .	21
2.4	Gesichterwahrnehmung und Gehirn . . . . .	22
2.5	Emotionen und Gehirn . . . . .	25
<b>3</b>	<b>Fragestellung</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>Methoden</b>	<b>33</b>
4.1	Auswahl der Reize . . . . .	33
4.2	Stimulation . . . . .	34
4.3	Apparatur . . . . .	37
4.4	Versuchsablauf . . . . .	39
4.5	Versuchspersonendaten . . . . .	40
4.6	Auswertung . . . . .	41
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>43</b>
5.1	Psychophysik . . . . .	43
5.1.1	Augendominanz . . . . .	43
5.1.2	Diskriminationsleistung . . . . .	45
5.1.3	Reaktionszeiten . . . . .	47

5.2	Elektrophysiologie . . . . .	48
5.2.1	Einfluß des Gesichtsfeldortes (rechts versus links) . . . . .	50
5.2.2	Einfluß der Darbietungsart (binokularer Wettstreit versus Kontrolle) . . . . .	52
5.2.3	Einfluß von emotionalem Ausdruck und Gesichtsfeldort (nasal versus temporal) . . . . .	54
5.2.4	Geschlechtsspezifische Effekte . . . . .	61
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>65</b>
6.1	Emotionaler Ausdruck . . . . .	66
6.2	Binokularer Wettstreit und Augendominanz . . . . .	71
6.3	Geschlechtsspezifische Effekte . . . . .	74
6.4	Ausblick . . . . .	79
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>81</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>85</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>94</b>
	<b>Anhang</b>	<b>95</b>

# Kapitel 1

## Einleitung

Als soziales und überwiegend visuell orientiertes Lebewesen hat der Mensch differenzierte Fähigkeiten zur Wahrnehmung von Gesichtern ausgebildet. Das Gesicht macht für uns ganz entscheidend die Identität einer Person aus. Im Alltag wird von uns verlangt, anhand eines Gesichts nicht nur die Identität, sondern auch den emotionalen Ausdruck und damit potentielle Absichten Anderer zu analysieren und gegebenenfalls schnell darauf zu reagieren. Wie essentiell diese Fähigkeiten sind, wird zum Beispiel an Patienten deutlich, die aufgrund von Hirnschädigungen eine Störung der Gesichterwahrnehmung (Prosopagnosie) erworben haben. Mittlerweile hat man durch Studien an solchen Personen und durch funktionell bildgebende Darstellungen des Gehirns kortikale Bereiche identifiziert, die besonders mit der Wahrnehmung von Gesichtern assoziiert sind. Ebenso wurden mit Hilfe elektrophysiologischer Untersuchungen Informationen darüber gewonnen, wann diese Areale im zeitlichen Ablauf der Verarbeitungsprozesse eine Rolle spielen (vgl. Kapitel 2 - Gesichterwahrnehmung und Gehirn).

Die vorliegende Dissertation beschäftigt mit den zerebralen Mechanismen der Wahrnehmung von Gesichtern beim Menschen, wobei besonderes Interesse dem Einfluß des emotionalen Ausdrucks auf diese Prozesse gilt. Emotional gefärbte Mimik stellt ein wichtiges Element der zwischenmenschlichen Kommunikation dar. Ähnlichkeiten in Ausdruck und Wahrnehmung von Emotionen im interkulturellen Vergleich sowie Experimente, die eine unterschwellige Verarbeitung emotionaler Informationen zeigen konnten, legen nahe, daß diese Fähigkeiten in sehr grundlegender Weise in der Struktur des Gehirns verankert sein müssen. Diese Arbeit soll unter anderem dazu beitragen, zusätzlich zu bereits bekannten topographischen Details der Organisation von Emotionen im Gehirn (vgl. Kapitel 2 - Emotionen und Gehirn) die zeitliche Dynamik dieser Prozesse beim Menschen zu erhellen.

Eine Reihe von Untersuchungen mit verschiedenen Methoden ergab Hinweise auf eine asymmetrische hemisphärische Beteiligung mit größerer Bedeutung der rechten Hemisphäre für die Wahrnehmung von Gesichtern. Aufgrund der Struktur des

visuellen Systems besteht eine Möglichkeit zur Erforschung von Hemisphärenunterschieden in der lateralisierten Präsentation von Sehreizen. Die vorliegende Arbeit kombiniert lateralisierte Darbietung mit einer dichoptischen Überlagerung von Gesichtern und Kontrollreizen in beiden Hemisphären (Einzelheiten vgl. Kapitel 3). Dadurch werden beiden Hemisphären physikalisch vergleichbare überlagerte Reize präsentiert, und es wird die unterschiedliche subjektive Wahrnehmung in dieser Situation analysiert. Während normalerweise das Sehen mit beiden Augen ein einheitliches Bild unserer Umwelt liefert, führt experimentelle Darbietung unterschiedlicher Reize für die Augen in der Regel zum binokularen Wettstreit. Darunter versteht man die wechselnde Dominanz jeweils eines der Reize und Unterdrückung des anderen in der Wahrnehmung. Die physiologischen Grundlagen dieses Phänomens sind bis jetzt nicht eindeutig geklärt und es existieren kontroverse Theorien darüber, wo im Verlaufe der visuellen Verarbeitung die Unterdrückung der Information eines der Reize stattfindet. Verwendung kognitiv anspruchsvoller Reize wie Gesichter, deren Wahrnehmung mit einer hemisphärischen Überlegenheit verbunden ist, könnte weitere Aufschlüsse über die Mechanismen dieses Phänomens geben.

Informationsverarbeitende Prozesse im Gehirn laufen sehr schnell (innerhalb von Millisekunden) ab. Ihre Untersuchung erfordert daher eine Methode mit einer entsprechenden zeitlichen Auflösung, die gegenwärtig nur von elektrophysiologischen Verfahren zur Verfügung gestellt wird. Während das technisch und finanziell aufwendige Magnetenzephalogramm (MEG) derzeit nur in wenigen Zentren verfügbar ist, stellt das in Klinik und Forschung vielfach verwendete Elektroenzephalogramm (EEG) eine bewährte Methode zur Untersuchung zerebraler Verarbeitungsvorgänge anhand ihrer elektrischen Korrelate dar. Aus dem EEG lassen sich über Mittelungsverfahren mit der Verarbeitung von Reizen im Zusammenhang stehende sogenannte evozierte Potentiale extrahieren (vgl. Kapitel 2 - Methodische Grundlagen). Gleichzeitig mit vielen Elektroden an verschiedenen Positionen abgeleitet und topographisch dargestellt, ergeben evozierte Potentiale ein differenziertes Bild der hirnelektrischen Aktivität über die Zeit. Die Verteilung dieser Aktivität kann quantitativ ausgewertet und zwischen verschiedenen experimentellen Bedingungen verglichen werden.

Das folgende Kapitel 2 gibt zunächst eine kurze Einführung in Bau und Funktion des Gehirns und speziell des visuellen Systems. Danach werden das EEG und methodische Grundlagen seiner Auswertung erläutert. Es folgt eine Zusammenfassung bisheriger Erkenntnisse zum binokularen Wettstreit, der Wahrnehmung von Gesichtern sowie der zerebralen Grundlage von Emotionen. Im sich anschließenden Kapitel 3 wird die Fragestellung dieser Arbeit genauer beschrieben. Einzelheiten über den Aufbau, den Ablauf und die Auswertung des durchgeführten Experiments sind in Kapitel 4 zu finden. Kapitel 5 stellt die Ergebnisse dar, die in Kapitel 6 im Bezug auf bisherige wissenschaftliche Erkenntnisse diskutiert werden.

# Kapitel 2

## Grundlagen

### 2.1 Gehirn

Schon solange es als organisches Korrelat des menschlichen "Geistes" gilt, ruft das Gehirn Faszination hervor und den Wunsch, seine Funktion zu begreifen. Aufgrund seiner Komplexität stellt es dabei wie kein anderes Organ eine Herausforderung für die Forschung dar. Seit Ende des 19. Jahrhunderts Ramón y Cajal die Nervenzelle als Baustein des Gehirns identifizierte, haben intensive fächerübergreifende wissenschaftliche Bemühungen eine Fülle von Erkenntnissen über dessen Struktur und Funktion ergeben. Einige Grundlagen sollen hier zusammenfassend dargestellt werden.

#### 2.1.1 Allgemeiner Aufbau

Makroskopisch läßt sich das Gehirn in Großhirn, Kleinhirn und Hirnstamm untergliedern. Im zentral gelegenen Hirnstamm sind Medulla oblongata (verlängertes Mark), Pons (Brücke) mit dorsal angelagertem Kleinhirn und Mesenzephalon (Mittelhirn) abgrenzbar. An diese schließt sich nach rostral das Zwischenhirn mit Hypothalamus und Thalamus an, über denen sich die paarigen Großhirnhemisphären ausbreiten. Die beiden Hemisphären sind über den in ihrer Mitte befindlichen Balken (Corpus callosum) miteinander verbunden. Während Hirnstamm und Kleinhirn unter anderem vegetative Körperfunktion wie Atmung und Kreislauf sowie die Koordination motorischer Vorgänge kontrollieren, ist die Großhirnrinde (Kortex) für höhere geistige Funktionen des Menschen wie Sprache, Willkürmotorik, sensorisches Erkennen, Assoziieren und Denken wichtig.

Zur Vergrößerung seiner Oberfläche ist der Kortex beim Menschen stark gefaltet und wird an seiner lateralen Oberfläche in Frontal-, Parietal-, Okzipital- und Temporalappen untergliedert. Die Rinde imponiert als graue Substanz bedingt durch ihren Zellreichtum und zeigt überwiegend einen 6-schichtigen Aufbau, wobei ge-

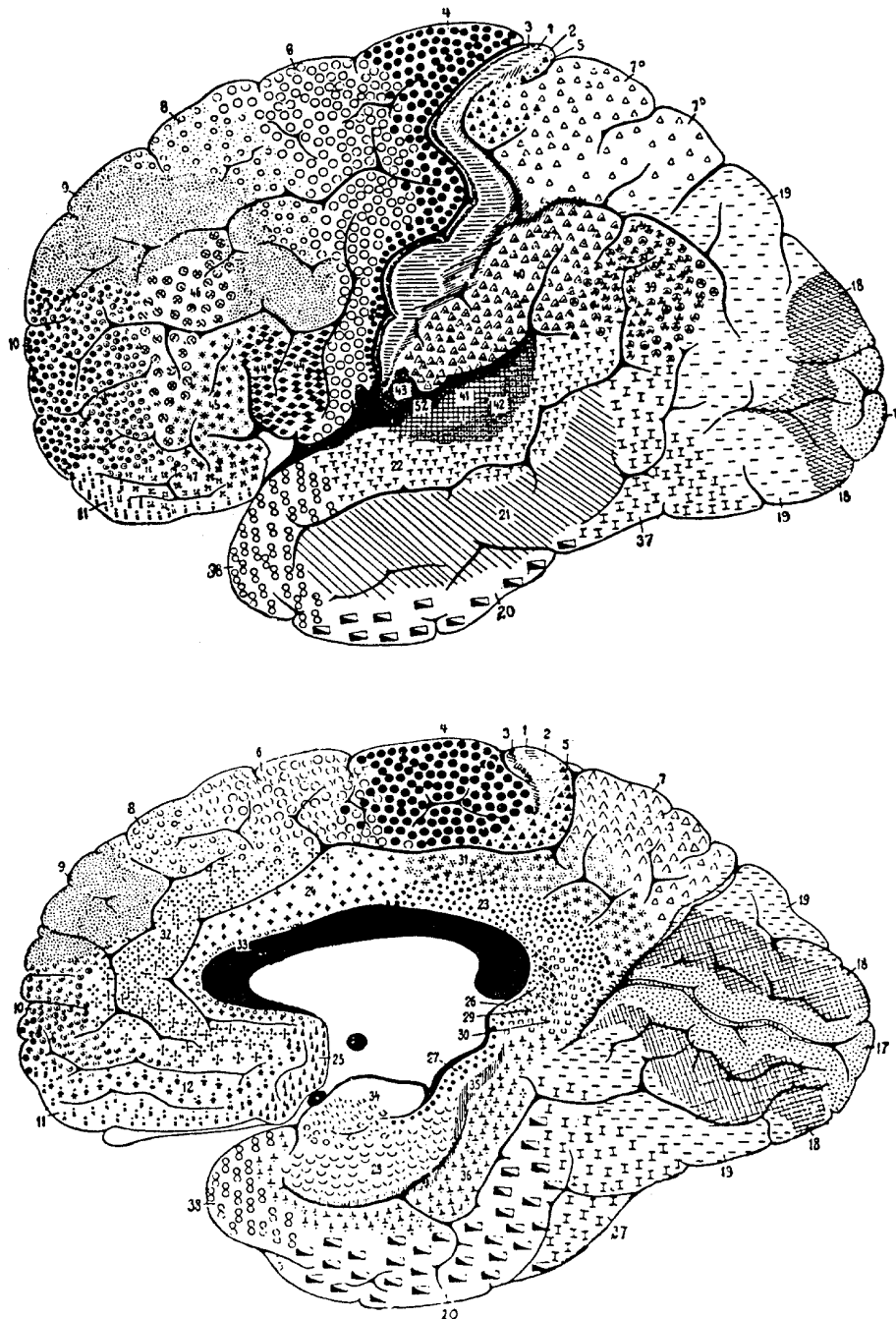


Abbildung 2.1: Zytoarchitektonische Rindenfelder nach Brodmann. Regionale Variationen im Aufbau der Großhirnrinde bilden die Grundlage dieser Karten. Die Areale decken sich teilweise, aber nicht vollständig mit funktionellen Einheiten (nach Nunez 1995a).



wisse regionale Variationen in der Zytoarchitektur bestehen. Solche anatomischen Unterschiede waren der Ausgangspunkt für Hirnkarten wie die Einteilung in 47 Rindenareale nach Brodmann. Diese in Abb. 2.1 dargestellten Karten werden allgemein zur topographischen Zuordnung von Bereichen innerhalb des Kortex benutzt. Die zytoarchitektonischen Besonderheiten decken sich teilweise, aber nicht vollständig mit funktionellen Einheiten. So entspricht zum Beispiel Area 4 dem primären motorischen, Area 1, 2 und 3 dem primären somatosensorischen, Area 17 dem primären visuellen Kortex. Innerhalb der ursprünglich von Brodmann dem visuellen System zugeordneten Areale (17-21) lassen sich jedoch mit modernen Methoden viele funktionelle Untereinheiten abgrenzen (vgl. Amaral 2000).

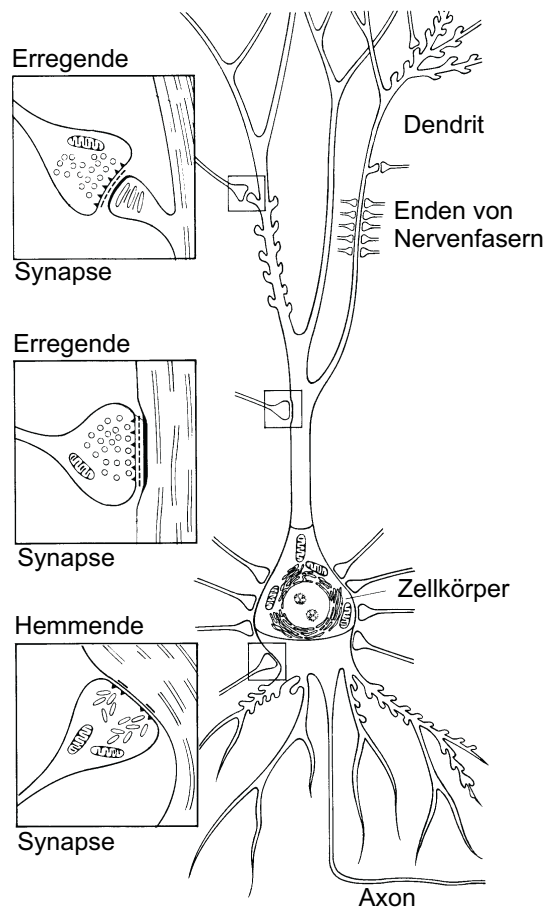


Abbildung 2.2: Schematische Darstellung des Aufbaus einer Pyramidenzelle sowie (in Ausschnitten vergrößert) verschiedener Synapsen. Diese Neurone bilden den bedeutendsten Anteil kortikaler Nervenzellen (modifiziert nach Iversen 1988).

Die sechs Schichten der Hirnrinde spiegeln ein Prinzip wider, nach dem ein- und ausgehende Verbindungen zwischen den Nervenzellen geordnet werden. Der Kortex enthält etwa 10 Milliarden Neurone, weiterhin eine große Zahl von Glia- oder

Hüllzellen. Unter den Nervenzellen lassen sich Projektionsneurone, die Verbindungen zu anderen Bereichen aufnehmen, sowie lokale Interneurone unterscheiden. Projektionsneurone sind die sogenannten Pyramidenzellen, deren Aufbau in Abb. 2.2 schematisch dargestellt ist. Diese Zellen stellen 80 % der kortikalen Neurone. Sie sind überwiegend in Schicht 3 und 5 der Rinde zu finden, ihre Dendriten erstrecken sich in darüberliegende Schichten. Über die Axone der Pyramidenzellen kommen Verbindungen zu ipsilateralen, eng benachbarten Arealen (Assoziationsfasern), zu Gebieten der gegenüberliegenden Hemisphäre (Kommissurenfasern), und zu entfernteren Hirnregionen oder dem Rückenmark (Projektionsfasern) zustande. Diese bilden den größten Teil der weißen Substanz. Assoziations- und Kommissurenfasern enden an den apikalen Dendriten anderer Pyramidenzellen. Hier werden Synapsen (Abb. 2.2) ausgebildet, die der Informationsweitergabe zwischen den Zellen dienen. Prinzipiell enden kortiko-kortikale Verbindungen in den Schichten 2 und 3. Bahnen vom Thalamus, die sensorische Information übermitteln, laufen in Schicht 4 ein, andere thalamische Afferenzen dagegen in Schicht 1 und 2 (vgl. Birbaumer & Schmidt 1999). Ein weiteres organisatorisches Prinzip des Kortex ist, daß Zellen mit ähnlichen funktionellen Eigenschaften in vertikalen Säulen (Kolumnen) angeordnet sind.

Die Weiterleitung von Informationen zwischen den Nervenzellen erfolgt auf elektrischem und biochemischem Wege. Im Ruhezustand besitzen die Neurone ein gegenüber dem Extrazellulärraum negatives Membranpotential von etwa  $-80$  mV, hervorgerufen durch ein Überwiegen negativer Ladungen in der Zelle. Diese Ladungsverteilung ist durch aktive Aufrechterhaltung eines Konzentrationsgefälles (Überwiegen von Kalium innerhalb und Natrium außerhalb der Zelle) sowie Diffusionsvorgänge bedingt. Kommt es spontan oder durch äußere Einwirkung zur Erniedrigung dieses Potentials bis zur Schwelle von  $-60$  mV, folgt ein Aktionspotential, eine ca. 1 ms dauernde Umkehrung der Membranladung. Diese wird durch eine kurzzeitige Durchlässigkeit der Zellmembran für Natrium-Ionen mit deren Einstrom in die Zelle hervorgerufen. Aktionspotentiale können sich mit einer Geschwindigkeit von bis zu 120 m/s entlang der Axone von Nervenzellen fortpflanzen.

Ein an einer Synapse ankommendes Aktionspotential führt zur Freisetzung gespeicherter Überträgersubstanzen (Neurotransmitter), die auf die Empfängerzelle einwirken und dort Potentialänderungen bewirken. Je nach Art der Synapse bzw. des Transmitters kommt es zu einer Hyperpolarisation (inhibitorisches postsynaptisches Potential, IPSP) oder einer Depolarisation (exzitatorisches postsynaptisches Potential, EPSP), die einige Millisekunden andauert. Die Pyramidenzellen verwenden den exzitatorischen Transmitter Glutamat, der größte Teil der kortikalen Interneurone den inhibitorischen Transmitter GABA. Auf jedes Neuron im Zentralnervensystem wirkt eine Vielzahl von Synapsen ein. Ausschüttung von Neurotransmittern an einer oder wenigen Synapsen bleibt in der Regel unterschwellig. Erst gleichzeitige Aktivierung vieler Synapsen führt durch Summation zur Depolarisation bis zum

Schwellenwert und löst an der Empfängerzelle ein Aktionspotential aus. Nach dem Alles-oder-Nichts-Prinzip gebildete und fortgeleitete Aktionspotentiale stellen das universelle Kommunikationsmittel im Nervensystem dar. Die Art der eingegangenen Verbindung bestimmt die Bedeutung dieses stereotypen elektrischen Signals: Zum Beispiel *sehen* wir, wenn Erregung *visueller* Rezeptoren an die entsprechenden Hirnregionen weitergeleitet wird. Was wir sehen, ist durch eine komplexe Verschaltung verschiedener Neurone bedingt.

### 2.1.2 Visuelles System

Beim Sehen handelt es sich um das wichtigste und komplexeste Sinnessystem des Menschen. Einen Überblick über die afferenten anatomischen Bahnen des visuellen Systems gibt Abb. 2.3. Die Axone der retinalen Ganglienzellen verlassen als Sehnerv (Nervus opticus) das Auge. Im Chiasma opticum kreuzt der den nasalen Netzhauthälften entstammende Faseranteil auf die Gegenseite, was dazu führt, daß jede Hirnhälfte Afferenzen aus beiden Augen erhält. Das linke Gesichtsfeld wird dadurch in der rechten, das rechte Gesichtsfeld in der linken Hemisphäre repräsentiert. Die

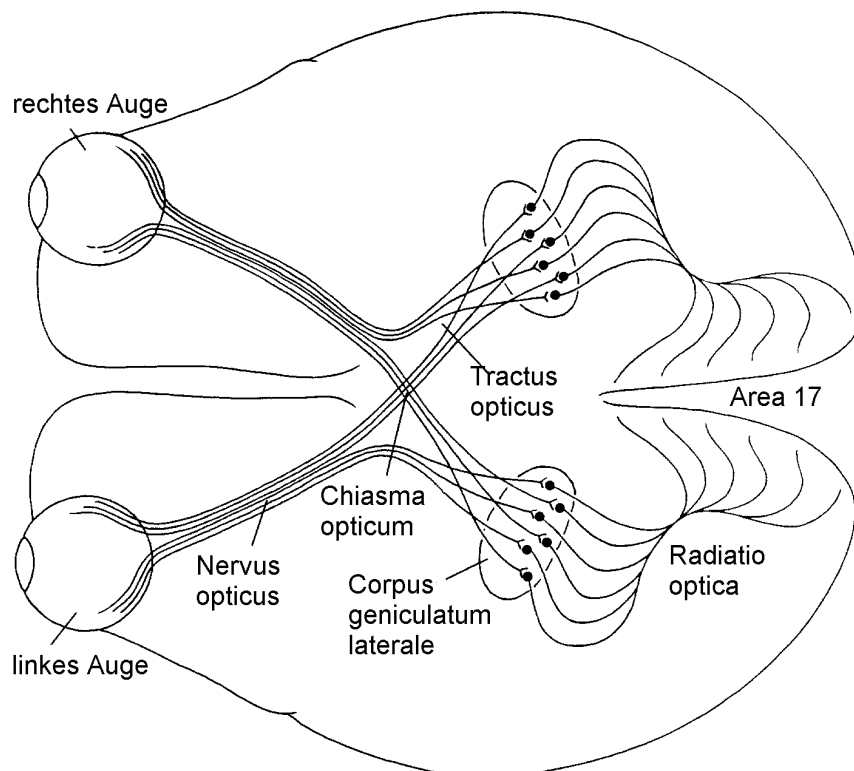


Abbildung 2.3: Schematische Darstellung der afferenten Bahnen des visuellen Systems (modifiziert nach Hubel und Wiesel 1988).

Fasern des Tractus opticus enden zum größten Teil am Corpus geniculatum laterale (CGL) des Thalamus. Das CGL zeigt eine Untergliederung in sechs Schichten, wobei Schicht 2, 3 und 5 die Opticus-Fasern des kontralateralen, Schicht 1, 4 und 6 die des ipsilateralen Auges beinhalten. In der Sehstrahlung (Radiatio optica) projizieren die Neurone des CGL zum posterior im Okzipitallappen gelegenen primären visuellen Kortex (Area 17 oder V1). Die thalamischen Afferenzen enden in Schicht 4 des visuellen Kortex. Bis hierhin sind die Eingänge aus beiden Augen streng getrennt (monokulare Neurone). Die Zusammenführung der Information beider Augen erfolgt über und unter Schicht 4. Hier erhalten die meisten Zellen Eingänge aus beiden Augen (binokulare Neurone), wobei normalerweise ein Auge dominant ist. In Area V1 wechseln sich Bereiche mit einer Dominanz des rechten und linken Auges ab, wodurch sich eine vertikale Aufteilung in sogenannte Augendominanzsäulen ergibt (Hubel & Wiesel 1977, zitiert nach Nicholls et al. 1995).

An den primären visuellen Kortex schließen sich nach ventral die Areale V2 bis V5 an, die in den Brodmannschen Feldern 18 und 19 liegen. V1 bis V5 werden als visuelle Elementarregionen zusammengefaßt. Darüber hinaus nehmen weitere Gebiete des Temporal- und Parietallappens an der Verarbeitung visueller Information teil, die als visuelle Integrations- und Assoziationsregionen bezeichnet werden. Im Verlauf der Verarbeitung in diesen Arealen geht die retinotopische Organisation (benachbarte Netzhautbereiche entsprechen benachbarten Stellen im visuellen Kortex) zunehmend verloren. Gleichzeitig nimmt die Komplexität der verarbeiteten Reizeigenschaften zu (vgl. Birbaumer & Schmidt 1999).

Ein kleinerer Anteil der Opticus-Fasern nimmt nicht den oben beschriebenen Weg, sondern projiziert zu Anteilen des Mittelhirns (Area praetectalis, Colliculus superior). Diese Verbindungen sind wichtig für die Lichtreflexe sowie die Koordination saccadischer Augenbewegungen. Vom Colliculus superior ausgehend finden sich Projektionen über das Pulvinar thalami zu extrastriären kortikalen Arealen. Daß nach Läsionen der primären Sehrinde gewisse Fähigkeiten einfacher visueller Diskrimination ohne bewußte Wahrnehmung ("Blindsight") erhalten bleiben können, wird mit dem Vorhandensein dieser Verbindungen erklärt (Weiskrantz 1996).

Verschiedene Reizmerkmale wie Form, Farbe, Bewegung und Lokalisation bilden in der visuellen Wahrnehmung eine Einheit. Dies wird jedoch durch eine parallele Analyse dieser Eigenschaften in verschiedenen Verarbeitungspfaden (Abb. 2.4) erreicht. Auf der Ebene des Sehnerven und Corpus geniculatum laterale lassen sich ein magnozelluläres (M) und ein parvozelluläres (P) System unterscheiden. Das parvozelluläre System ist spezialisiert für Farbwahrnehmung, Reize mit hohem Kontrast, hoher räumlicher und geringer zeitlicher Frequenz, das magnozelluläre hingegen für Stimuli mit niedrigerem Kontrast, niedriger räumlicher sowie hoher zeitlicher Frequenz. Beide Verarbeitungswege bleiben in den kortikalen Arealen V1 bis V3 weitgehend getrennt. Der größte Teil des magnozellulären Systems führt über Area V5

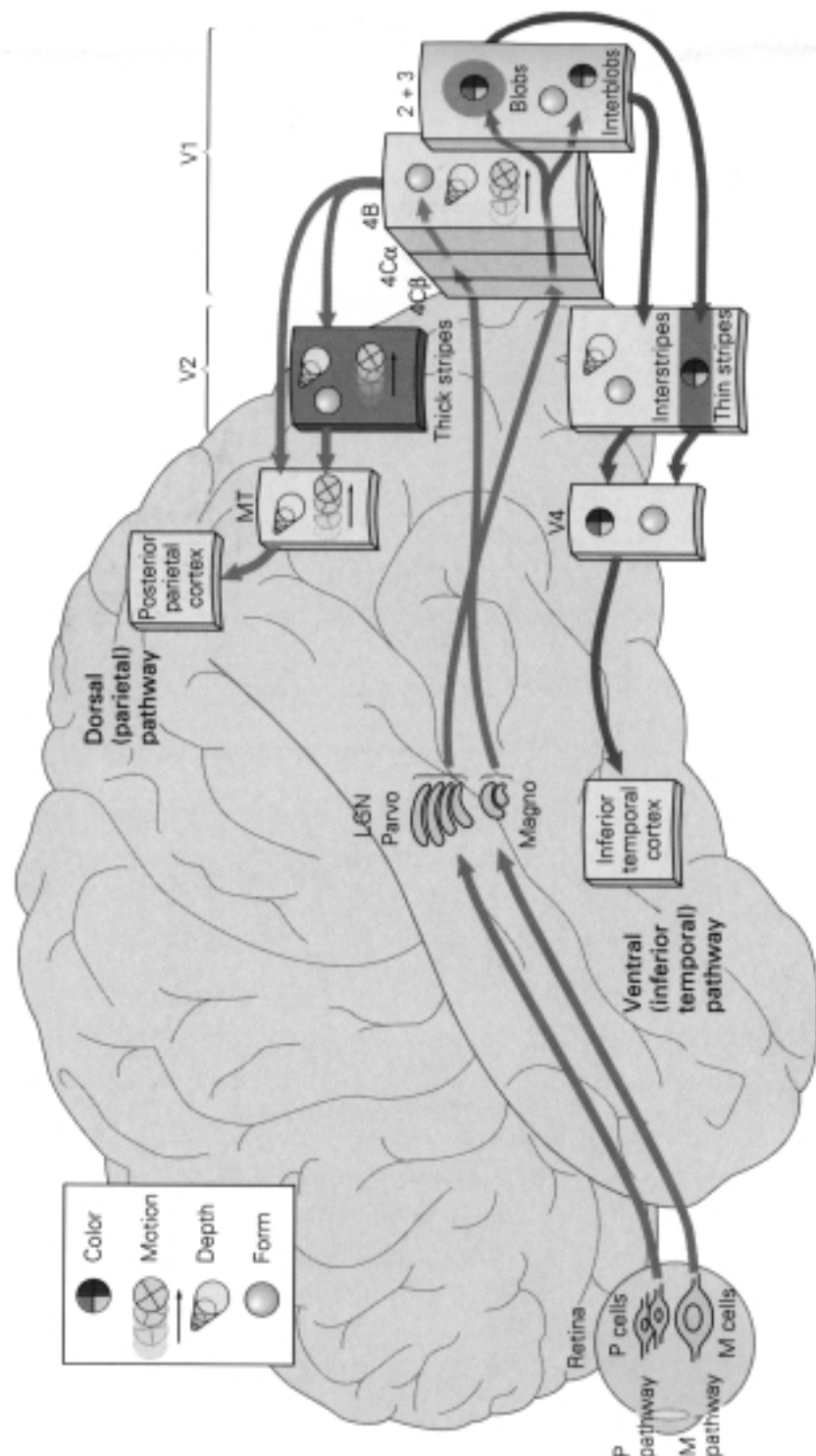


Abbildung 2.4: *Parallele Verarbeitungspfade im visuellen System: Die Symbole sollen funktionelle Eigenschaften der Zellen in den jeweiligen Arealen wiedergeben. Der dorsale (parietale) Pfad dient der Verarbeitung von Bewegung und räumlicher Information, der ventrale (temporale) Pfad der Farb- und Formanalyse sowie Objektidentifikation (nach van Essen & Gallant 1994, zitiert bei Kandel & Wurtz 2000).*

(auch als mediotemporale area MT bezeichnet) zum parietalen Kortex und bildet den dorsalen, der Orts- und Bewegungsanalyse dienenden Pfad des visuellen Systems. Schädigungen der beteiligten Areale können selektiv die Fähigkeit zur Wahrnehmung von Bewegung beeinträchtigen. Das gesamte parvozelluläre und Anteile des magnozellulären Systems projizieren über Area V4 zum inferioren temporalen Kortex. Dies stellt den ventralen Verarbeitungsweg des visuellen Systems dar, der für Farb- und Formanalyse sowie Objektidentifikation zuständig ist. Hier lokalisierte Läsionen können zur Unfähigkeit der Erkennung von Farben und komplexen Objekten führen (vgl. Kandel & Wurtz 2000).

## 2.2 Methodische Grundlagen

Während der Aufbau des Gehirns und die Funktionen auf zellulärer Ebene gründlich erforscht sind, befindet man sich bezüglich der Klärung der neuronalen Grundlagen mentaler Verarbeitungsprozesse noch weitgehend am Anfang. Dies ist durch die Komplexität solcher Vorgänge bedingt und nicht zuletzt durch die Unmöglichkeit ihrer direkten Beobachtung. Verschiedene Verfahren können immer nur Teilaspekte der Funktion des Gehirns abbilden. Durch Studien an Personen mit lokalisierten Hirnschädigungen (die zu Beginn der Neurowissenschaften die einzige Möglichkeit darstellten) lassen sich Hinweise finden, welche Hirnregionen für bestimmte Aufgaben essentiell sind. Das bedeutet allerdings nicht, daß diese Funktionen ausschließlich dort lokalisiert sind. Elektrophysiologische Techniken können die Aktivität einzelner Neurone sowie auf der Kopfoberfläche ableitbare elektrische (Elektroenzephalogramm EEG) oder magnetische (Magnetenzephalogramm MEG) Felder erfassen. Funktionelle bildgebende Verfahren hingegen ermöglichen, Veränderungen der regionalen Hirndurchblutung und somit des zerebralen Stoffwechsels aufzuzeichnen. Diese werden gemessen über die regionale Anreicherung radioaktiver Substanzen (Single-Photonen-Emissions-Computertomographie SPECT oder Positronenemissionstomographie PET), oder Veränderungen der Sauerstoffsättigung (Funktionelle Kernspintomographie fMRI).

In der hier vorliegenden Arbeit wird die zerebrale Verarbeitung von Gesichterreizen beim Menschen mit Hilfe elektrophysiologischer Verfahren untersucht. Die folgenden Abschnitte sollen eine Einführung in die zugrundeliegende Methodik geben.

### 2.2.1 Elektroenzephalogramm

In den 20-er Jahren des letzten Jahrhunderts beschrieb der Psychiater Hans Berger erstmals von der Kopfoberfläche ableitbare elektrische Potentialschwankungen, die er als "Elektroencephalogramm" (EEG) bezeichnete. Zunächst wurde der zerebrale Ursprung dieser Erscheinungen vielfach angezweifelt.

Das normale EEG besteht aus einem Gemisch von Wellen unterschiedlicher Frequenz und Amplitude, die traditionsgemäß nach ihrer Frequenz in verschiedenen Gruppen zusammengefaßt werden. Dabei ist die zu einem Zeitpunkt dominierende Frequenz abhängig von Wachheitsgrad, Aufmerksamkeitsniveau und Alter. Die wichtigsten Wellenformen sind:

- Alpha-Wellen: Frequenz 8–13 Hz. Physiologischer Grundrhythmus des ruhenden Gehirns, stärkste Ausprägung okzipital.

- Beta-Wellen: Frequenz 14–30 Hz. Im normalen Ruhe-EEG deutlich kleinere Amplitude als Alpha-Wellen, hauptsächliche Ausprägung fronto-zentral. Zunahme durch Augenöffnung, Einwirkung von Sinnesreizen oder geistige Tätigkeit.
- Theta-Wellen: Frequenz 4–7 Hz. Vorkommen im Kleinkind- und Säuglingsalter, beim Erwachsenen im Übergang vom Wach- in den Schlafzustand sowie im leichten Schlaf.
- Delta-Wellen: Frequenz 0,5–3 Hz. Vorkommen im Kleinkind- und Säuglingsalter sowie im Tiefschlaf des Erwachsenen.

### Elektrogenese

Die physiologische Grundlage des EEG bilden überwiegend exzitatorische postsynaptische Potentiale der kortikalen Pyramidenzellen. Aktivierung der apikalen Dendriten dieser Zellen bewirkt einen extrazellulären Stromfluß, der zu einem auf der Kortexoberfläche meßbaren Potential führt (Abb. 2.5). Inhibitorische Potentiale haben einen wesentlich geringeren Stromfluß zur Folge und tragen somit weniger zur Entstehung des EEG bei. Ebenso haben die Aktionspotentiale durch ihre kurze Dauer nur geringen Einfluß (vgl. Birbaumer & Schmidt 1999).

Für die auf der Kopfoberfläche ableitbaren Potentiale ist weniger die absolute Anzahl aktivierter Nervenzellen als die synchrone Tätigkeit größerer Neuronenverbände ausschlaggebend (Abb. 2.6). Zum EEG-Signal tragen vorwiegend die kortikalen Bereiche bei, in denen viele Neurone in Phase aktiviert werden und sich dadurch eine Schicht zur Oberfläche senkrecht stehender Dipole ausbildet. In Arealen mit zufällig ausgerichteten Dipolen und in den Sulci mit zur Oberfläche tangentialer Orientierung der Dipole neigt diese Aktivität dazu, sich auszulöschen. Jene Bereiche haben damit weniger Einfluß auf das Oberflächen-EEG (Nunez 1995).

Die verschiedenen EEG-Frequenzen spiegeln eine unterschiedlich starke Synchronisation der aktiven Neurone wider. Dabei ist die Genese der einzelnen Rhythmen noch nicht vollständig geklärt. Für den Alpha-Rhythmus wird überwiegend der Thalamus als Taktgeber angesehen, da dieser Rhythmus nach Durchtrennung der Verbindungen zwischen Thalamus und Kortex erlischt und bestimmte Thalamo-kortikale Schaltzellen ein oszillatorisches Verhalten aufweisen. Andere Theorien sehen den Alpha-Rhythmus jedoch als durch kortiko-kortikale Interaktionen verursacht an (vgl. Pilgreen 1995). Unter Einwirkung des aufsteigenden Aktivierungssystems (ARAS) kommt es zur Desynchronisation des EEG (Beta-Rhythmus). Das Fehlen dieses Einflusses führt zu vermehrter Synchronisation (Delta-Rhythmus im Schlaf).



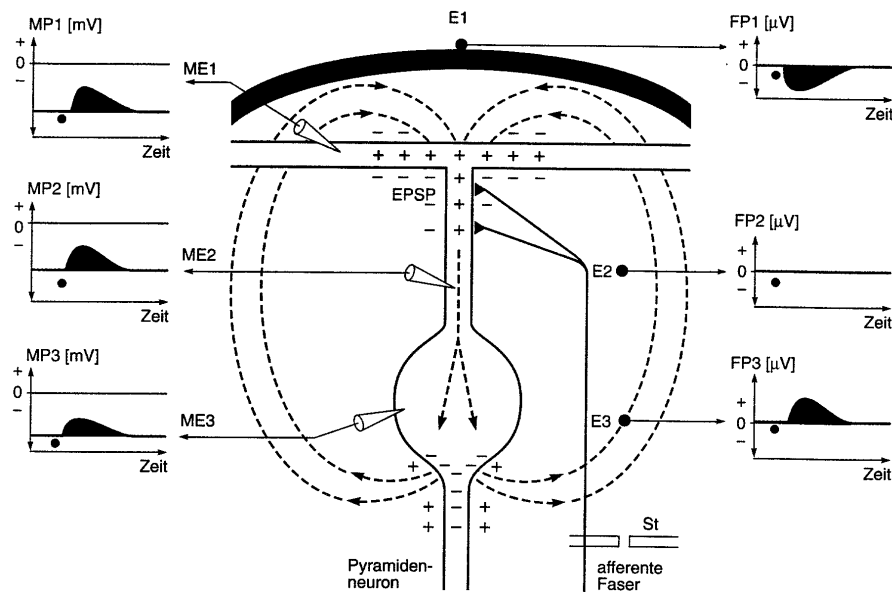


Abbildung 2.5: *Elektrisches Feld bei Aktivierung einer Pyramidenzelle, abgeleitet mit verschiedenen intrazellulären (ME1, ME2, ME3) und extrazellulären (E1, E2, E3) Elektroden, für die jeweils die gemessenen Potentiale (MP1, MP2, MP3, FP1, FP2, FP3) angegeben sind (nach Deetjen & Speckmann 1992).*

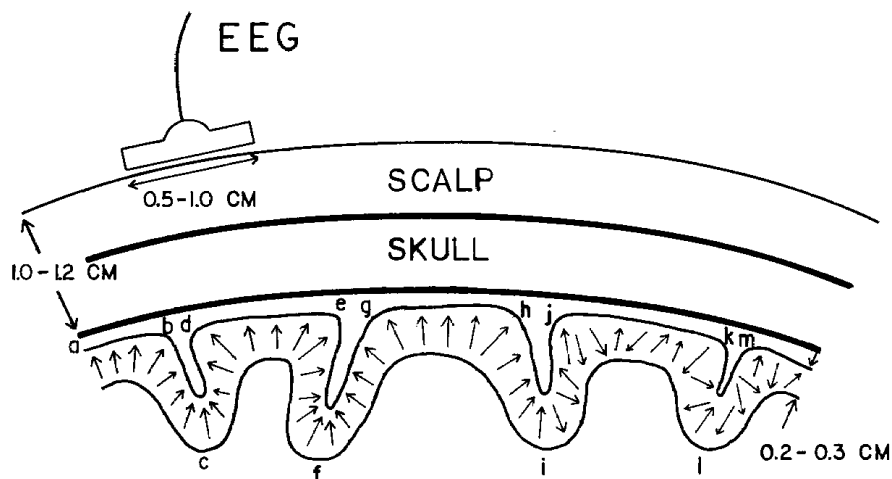


Abbildung 2.6: Auf der Kopfoberfläche meßbare Potentiale entsprechen Summationen der synchronen Aktivität größerer Zellverbände (in diesem Schema Areale a-b, d-e, g-h). Zufällige (j-k) oder entgegengesetzte (Sulci) Orientierung der Dipole führt zur gegenseitigen Auslöschung der Aktivität (modifiziert nach Nunez 1995b).

## Anwendung

Große klinische Bedeutung hat das EEG in der Diagnostik der Epilepsie. Darüber hinaus findet es Anwendung unter anderem in der Diagnose diffuser Hirnschädigungen wie Enzephalitis, Stoffwechselerkrankungen und Intoxikationen. Es wird genutzt zur Narkoseüberwachung, Differentialdiagnose komatöser Zustände und Feststellung des Hirntodes sowie der Abklärung von Schlafstörungen. Neben der traditionell angewandten visuellen Inspektion kommen hierbei zunehmend moderne rechnerische Auswertungsverfahren zum Einsatz.

Für die Anwendung im wissenschaftlichen Bereich bietet das EEG durch seine hohe zeitliche Auflösung (im Bereich von Millisekunden) die Möglichkeit, die Funktion des Gehirns quasi "online" zu verfolgen. Derzeit stellt allein noch das Magnetenzephalogramm eine ähnlich hohe zeitliche Auflösung zur Verfügung, dieses ist jedoch ungleich aufwendiger, teurer und nur an wenigen Einrichtungen vorhanden.

Bildgebende Verfahren wie funktionelle Kernspintomographie oder Positronenemissionstomographie haben eine hohe räumliche Auflösung (innerhalb von Millimetern bis Zentimetern) und erlauben damit eine anatomische Lokalisation. Sie sind jedoch aufgrund ihrer geringen zeitlichen Auflösung (Sekunden bis Minuten) nicht in der Lage, zerebrale Funktionen in ihrer zeitlichen Dynamik zu erfassen.

### 2.2.2 Evozierte Potentiale

Zusätzlich zur Registrierung der Spontanaktivität des Gehirns besteht die Möglichkeit, durch Sinnesreize und deren Verarbeitung hervorgerufene Veränderungen der hirnelektrischen Aktivität zu erfassen. Diese werden als Evozierte oder Ereigniskorrelierte Potentiale bezeichnet und gehen aufgrund ihrer geringen Amplitude gewöhnlich im Spontan-EEG unter. Durch reizbezogene Mittelung können sie jedoch sichtbar gemacht werden. Dafür wird der gleiche Reiz wiederholt dargeboten und die folgende Aktivität über einen feststehenden zeitlichen Abschnitt gemittelt. Die in keiner konstanten Beziehung zum Reiz stehende Aktivität wird dadurch zunehmend reduziert und strebt bei  $N$  Mittelungen wie  $1/\sqrt{N}$  gegen Null, wodurch das evozierte Potential herausgehoben wird.

Je nach beteiligter Sinnesmodalität werden visuell, akustisch und somatosensorisch evozierte Potentiale unterschieden. In der vorliegenden Arbeit wurden visuell evozierte Potentiale (VEP) registriert. Diese haben eine Amplitude von 1–20  $\mu\text{V}$ . Physikalische Parameter wie Kontrast, Leuchtdichte, Größe sowie der Gesichtsfeldort des Reizes sind für die Größe des VEP und somit für die Anzahl der benötigten Mittelungen entscheidend, gewöhnlich liegt diese im Bereich von 30–200 Reizwiederholungen. In Abb. 2.7 ist ein Beispiel eines visuell evozierten Potentials dargestellt. Es handelt sich hierbei um ein durch periodische Kontrastumkehr eines

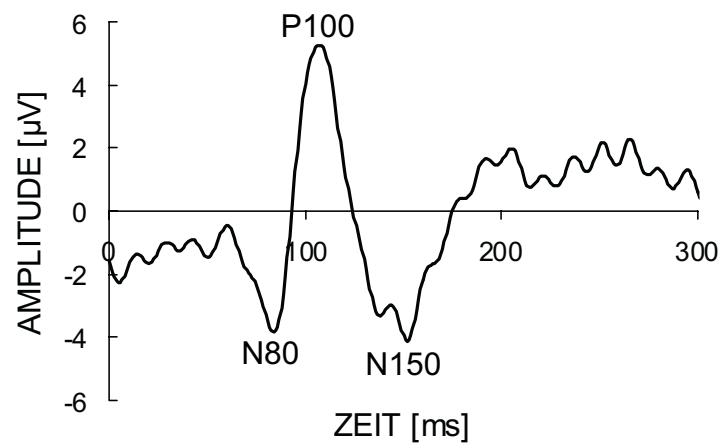


Abbildung 2.7: Schachbrettmuster-Umkehr-VEP für eine okzipital platzierte Elektrode (Mittelwert von 30 Kanälen als Referenz). Das Potential zeigt negative und positive Auslenkungen (Komponenten), die nach Polarität und Latenz als N80, P100 und N150 bezeichnet werden.

Schachbrettmusters hervorgerufenen Potential, das vielfältige klinische Anwendung in der Diagnostik vor allem der Multiplen Sklerose, aber auch anderer neurologischer und ophthalmologischer Erkrankungen findet. Dieses VEP zeigt positive und negative Auslenkungen, die als Komponenten bezeichnet werden. Ihre Benennung erfolgt nach Polarität und Latenz (N80, P100, N150). Demyelinisierende Prozesse setzen die Nervenleitgeschwindigkeit herab und führen zu einer Latenzverzögerung der P100, die den wesentlichen diagnostischen Parameter darstellt (vgl. Poeck & Hacke 1998). Der Wert dieser Methode liegt dabei in der Erfassung anamnestisch oder klinisch noch nicht nachweisbarer pathologischer Veränderungen.

Mittels einfacher Reize wie Blitzlicht oder Musterumkehr erzeugte Potentiale können somit zur Überprüfung der Intaktheit afferenter Bahnen dienen. Durch komplexere Reize und deren Verarbeitung ausgelöste Potentiale finden weniger klinische Anwendung. Ihre Nutzung im Rahmen wissenschaftlicher Untersuchungen kann hingegen Aufschlüsse über den Ablauf von Prozessen der zerebralen Informationsverarbeitung geben.

### Sensorische und kognitive Einflüsse

Klassischerweise werden vorwiegend durch Reizparameter wie Leuchtdichte und Kontrast beeinflussbare frühe Komponenten evozierter Potentiale als "exogene" Komponenten bezeichnet. Diesen stehen die "endogenen" späteren Komponenten gegenüber, die mit kognitiven Verarbeitungsprozessen in Verbindung gebracht werden. Die bereits besprochene P100 bei Stimulation durch Schachbrettmuster-Umkehr stellt ein Beispiel für eine exogene Komponente dar. Eine bekannte endogene Kom-

ponente ist die P300, die erstmals von Sutton et al. (1965) beschrieben wurde. Diese wurde als endogen bezeichnet, denn ihr Verhalten ist weniger durch Stimulusmerkmale an sich als durch deren Bedeutung im experimentellen Kontext bestimmt. Verschiedene Paradigmata können zu einer P300 führen, von größter Bedeutung für deren Auslösung sind die Häufigkeit des Auftretens eines Reizes und dessen Aufgabenrelevanz. So findet sich im Oddball-Paradigma, bei dem seltene Zielreize von häufigen Nicht-Zielreizen unterschieden werden müssen, eine erhöhte Amplitude der P300 für Zielreize. Darüber hinaus kann eine P300 durch die Abwesenheit eines Reizes innerhalb einer regelmäßigen Abfolge von Stimuli ausgelöst werden (vgl. Gevins & Cuttillo 1995).

Daß die P300 in älteren Studien als unabhängig von Reizmodalitäten beschrieben wurde, ist teils methodisch bedingt. Mit moderneren Auswertungsverfahren konnte unter anderem gezeigt werden, daß die topographische Verteilung der P300 durch die Lokalisation des Reizes im Gesichtsfeld beeinflusst wird (Skrandies 1983) und sich unterschiedliche Quellen der P300 je nach beteiligter Sinnesmodalität finden (Hubl et al. 2000).

Darüber hinaus zeigt "kognitive" Verarbeitung Effekte bei frühen Komponenten, die nach traditioneller Auffassung vor allem primäre sensorische Reizaufnahme widerspiegeln. So sind zum Beispiel bereits Komponenten um 100 ms durch Aufmerksamkeit bzw. Aufgabenrelevanz beeinflussbar (Skrandies 1983). In einer Studie zur Sprachverarbeitung wurden Einflüsse der semantischen Bedeutung von Wörtern auf das VEP ebenfalls schon in sehr frühen Zeitbereichen gefunden (Skrandies 1998). Der Sinn einer strikten Trennung exogener und endogener Komponenten evozierter Potentiale wird somit zunehmend in Frage gestellt.

### 2.2.3 Topographische Darstellung

Mit elektrophysiologischen Ableitungen erfaßte Signale sind nie absolute Größen, sondern immer Potentialdifferenzen zwischen zwei Elektroden. Unterschiedliche gebräuchliche Referenzelektroden (Nase, Ohren, Mastoid u.ä.) führen zu verschiedenen Amplituden und Latenzen an bestimmten Lokalisationen, wodurch Vergleiche zwischen Studien problematisch, wenn nicht gar unmöglich werden.

Ein Mittel zur Lösung dieses Problems bietet die topographische Auswertung (Lehmann & Skrandies 1980). Anstelle von Potentialverläufen an vielen Orten als Funktion der Zeit werden dabei Karten der hirnelektrischen Aktivität an aufeinanderfolgenden Zeitpunkten betrachtet. Voraussetzung hierfür ist eine genügend hohe Elektrodendichte, da zwischen den einzelnen Elektrodenpositionen gelegene Werte rechnerisch interpoliert werden. Man erhält dadurch Potentialkarten, die ähnlich wie geographische Karten zu lesen sind und eine differenzierte Darstellung der zweidimensionalen Verteilung der zerebralen Aktivität über die Zeit geben.

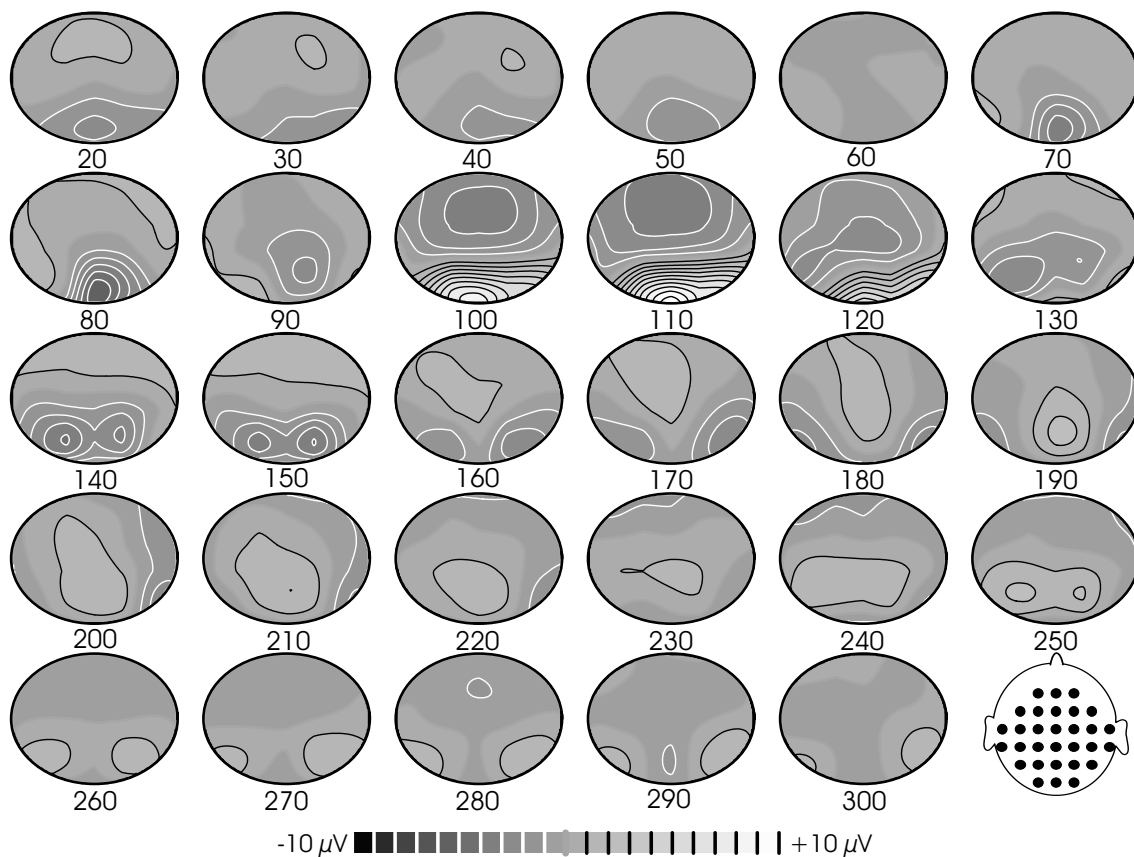


Abbildung 2.8: Topographische Darstellung des Schachbrettmuster-Umkehr-VEP. Eine Orientierungshilfe bietet das beigefügte Kopfschema, unter den Karten sind die jeweiligen Latenzen in ms angegeben. Helle Grautöne mit schwarzen Linien entsprechen positiven, dunkle Grautöne mit weißen Linien negativen Potentialen gegenüber der Mittelwertsreferenz. Die Isopotentiallinienabstände betragen  $1 \mu V$ . Über den okzipitalen Elektroden stellt sich beispielsweise die P100-Komponente bei 100-120 ms mit dichten Isopotentiallinien und hohen Amplituden dar.

Abb. 2.8 zeigt ein Beispiel einer topographischen Kartenserie, wobei unterschiedliche Grauwerte unterschiedlichen Amplituden entsprechen. Helle Werte entsprechen positiven, dunkle negativen Potentialen. Es handelt sich um das bereits in Abb. 2.7 am Beispiel einer Elektrode vorgestellte Schachbrettmuster-Umkehr-VEP. Das Auftreten der Komponenten N80, P100 und N150 ist in Form von Zeitpunkten mit besonders dichten Isopotentiallinien (hohen Amplituden) über den okzipitalen Bereichen zu erkennen.

Die Referenzelektrode stellt das Nullniveau dar, gegenüber dem alle Potentiale gemessen werden. Eine Änderung der Referenz führt somit bei derartigen topographischen Darstellungen lediglich zu einer Verschiebung dieses Nullniveaus, die Lokali-

sation der Potentialmaxima und -minima jeder Karte und die Latenzen der Komponenten bleiben unbeeinflusst. Für die Auswertung feiner Unterschiede zwischen experimentellen Bedingungen bietet sich an, keine entfernte Referenzelektrode, sondern den Mittelwert aller gemessenen Potentiale (average reference), zu verwenden. Damit bekommen alle Elektroden gleiches Gewicht und geringe Änderungen innerhalb des elektrischen Feldes werden am besten erfaßt.

### 2.2.4 Quantitative Auswertung und Datenreduktion

Topographische Kartenserien der hirnelektrischen Aktivität bieten dem Betrachter ein Fülle von Informationen. Für ihre Anwendung im Rahmen wissenschaftlicher Untersuchungen ist jedoch eine Beurteilung nur aufgrund von visueller Inspektion nicht ausreichend, sondern die Einführung objektiver und datenreduzierender Größen erforderlich. Ein solches Mittel, daß in der vorliegenden Arbeit zur Anwendung kommt, ist die Global Field Power (GFP) (Lehmann & Skrandies 1980). Diese ist ein Maß für die Varianz innerhalb der Potentiale einer Karte. Sie wird berechnet als Standardabweichung der Spannungen  $U_i$  aller  $n$  Elektroden gegenüber der Mittelwertsreferenz (Formel 2.1).

$$GFP = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (U_i - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n U_j)^2} \quad (2.1)$$

Wie bereits dargestellt, weisen evozierte Potentiale zeitlich voneinander abgrenzbare Komponenten auf, die durch besondere Steilheit der Kartenlandschaft charakterisiert sind (Abb. 2.8). Die Feldstärke variiert mit diesem zeitlichen Verlauf und ist

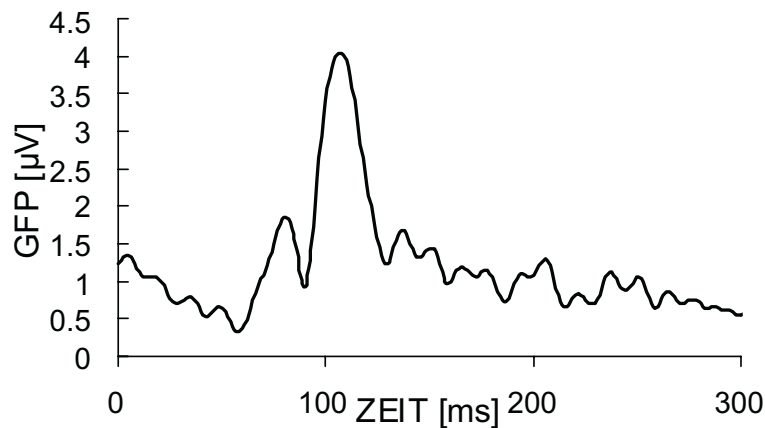


Abbildung 2.9: GFP-Kurve des Schachbrettmuster-Umkehr-VEP, entsprechende Potentialkarten in Abb. 2.8. Die Komponenten N80, P100 sowie N150 stellen sich als Maxima der GFP dar.

während steiler Potentialgradienten am höchsten. Über die GFP wird die Feldstärke quantifiziert, die Maxima der GFP dienen somit zur objektiven Erfassung der Komponenten. Abb. 2.9 zeigt die GFP-Kurve des bekannten Schachbrettmuster-Umkehr-VEP, wobei dem Auftreten der Komponenten entsprechende Maxima der GFP zu erkennen sind.

Die auf diese Weise gewonnenen Komponenten werden durch verschiedene Variablen charakterisiert: GFP-Amplitude, Latenz ihres Auftretens sowie Merkmale der topographischen Verteilung. Zur Quantifizierung der Potentialverteilung bieten sich die positiven und negativen Zentroide an. Diese werden als Schwerpunkte der negativen und positiven Anteile einer Potentialkarte aus den Amplituden  $A_i$  der  $n$  Elektroden und deren Lokalisation  $(x, y)$  berechnet.

$$x_{c+} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i A_i \Theta(A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i \Theta(A_i)} \quad ; \quad x_{c-} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i A_i \Theta(-A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i \Theta(-A_i)} \quad (2.2)$$

Für die Berechnung der x-Koordinaten des positiven ( $C^+$ ) und negativen ( $C^-$ ) Zentroids gelten die unter (2.2) aufgeführten Formeln, die y-Koordinaten ergeben sich in analoger Weise. Einige Beispielkarten mit der entsprechenden Lokalisation der positiven und negativen Zentroide sind in Abb. 2.10 zu sehen.

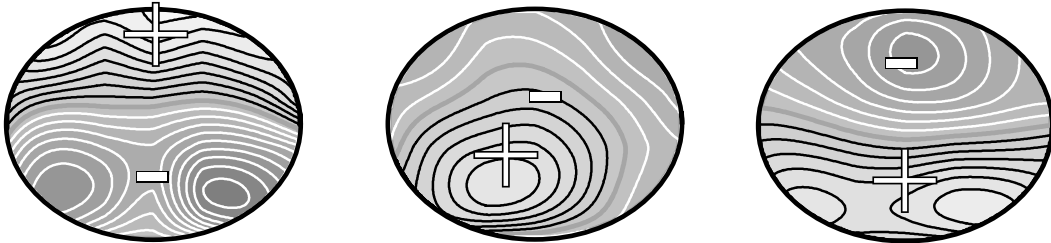


Abbildung 2.10: Lokalisation der positiven (+) und negativen (-) Zentroide am Beispiel verschiedener Karten. Helle Grautöne mit schwarzen Linien entsprechen positiven, dunkle Grautöne mit weißen Linien negativen Potentialwerten in Bezug auf die Mittelwertsreferenz, die Isopotentiallinienabstände betragen  $1 \mu V$ .

### 2.2.5 Möglichkeiten und Grenzen

Die geschilderten Methoden erlauben es, die Information topographischer Kartenserien zu quantifizieren und somit zwischen verschiedenen experimentellen Bedingungen zu vergleichen. Die Stärke elektrophysiologischer Verfahren liegt dabei in ihrer hohen zeitlichen Auflösung und ihrer Empfindlichkeit, auf experimentelle Variationen zu reagieren.

Eine häufige Fehlinterpretation von EEG-Daten ist, von Arealen mit den höchsten Amplituden auf darunter lokalisierte Generatoren zu schließen. Daß ein solch einfacher Rückschluß nicht möglich ist, läßt sich am Beispiel des Schachbrettmuster-Umkehr-VEP illustrieren. Bei lateralisierter Stimulation kommt es dabei zum Amplitudenmaximum der P100 kontralateral der aktivierten Hemisphäre (paradoxe Lateralisierung, vgl. Barrett et al. 1976 und Hoffmann et al. 1996). Die Ausprägung der Potentiallandschaft ist demnach weniger von der Lage als der Orientierung des neuronalen Generators abhängig.

Während bei einem bekannten zerebralen Generator die daraus resultierende Potentialverteilung eindeutig berechenbar ist, bietet die EEG-Oberflächenableitung grundsätzlich nicht genügend Informationen, um zugrundeliegende Quellen eindeutig zu bestimmen. Dieses "inverse Problem" bedingt, daß einer gegebenen Potentialverteilung viele unterschiedliche Generatoren entsprechen können. Zusätzlich komplizierend wirkt die Tatsache, daß sich elektrische Felder in einem inhomogenen Medium wie dem menschlichen Kopf nicht gleichmäßig ausbreiten und durch Volumenleitung beträchtlich gestreut werden (vgl. Nunez 1995).

Dennoch existieren verschiedene Verfahren zur rechnerischen Bestimmung der Quellen hirnelektrischer Aktivität, die mit bestimmten einschränkenden Voraussetzungen vielversprechende Ergebnisse bringen. Darüber hinaus kann bei manchen Fragestellungen, die eine anatomische Lokalisation und hohe zeitliche Auflösung verlangen, die Kombination von EEG und z.B. fMRI hilfreich sein, wenn auch damit das inverse Problem noch nicht gelöst ist.



## 2.3 Binokularer Wettstreit

Das Sehen mit beiden Augen ergibt in der Regel ein einheitliches Bild unserer Umwelt. Werden experimentell den Augen unterschiedliche Reize dargeboten, kommt es zu einem spontanen, kaum vorhersagbaren Wechsel beider Bilder in der Wahrnehmung des Betrachters. Dabei ist jeweils für einige Sekunden nur ein Reiz wahrnehmbar, während der andere unterdrückt wird. Dieses Phänomen, als "binokulare Rivalität" oder "binokularer Wettstreit" bekannt, wurde bereits 1760 von DuTour für Reize verschiedener Farbe beschrieben (O'Shea 1999).

Die Dynamik dieser perzeptuellen Wechsel wurde ausführlich u.a. von Levelt (1966) untersucht. So wird die Wechselrate von Parametern der Stimulusstärke wie Helligkeit und Kontrast beeinflusst. Bei Erhöhung des Kontrastes für ein Auge kommt es zu einer Reduzierung der durchschnittlichen Dominanzdauer des anderen Auges. Eine Ausnahme stellen sehr kurze Darbietungsdauern dar, für die von verschiedenen Autoren (siehe Wolfe 1983 für einen Überblick) eine subjektive Überlagerung dichoptischer Reize in der Wahrnehmung beschrieben wurde. Wolfe (1983) fand, daß die Schwelle für diese "abnormale Fusion" bei etwa 150 ms lag, und durch unterschiedliche Ortsfrequenz und Helligkeit nicht beeinflusst wurde. Dieses führte zu der Hypothese, daß der Mechanismus des binokularen Wettstreits mindestens 150 ms braucht, um wirksam zu werden, und kurzfristig dargebotene dichoptische Reize qualitativ anders verarbeitet würden.

Obwohl das Phänomen des binokularen Wettstreits seit mehreren hundert Jahren bekannt und psychophysisch ausgiebig untersucht ist, sind seine physiologischen Grundlagen immer noch unklar, und es existiert keine einheitliche Theorie. Einer Theorie von Blake (1989) zufolge tritt der binokulare Wettstreit dann in Kraft, wenn die Eingänge beider Augen zu unterschiedlich sind, um noch fusioniert zu werden. Fusion hat somit Vorrang vor Suppression. Als neuronale Grundlage der Dominanz bzw. Suppression eines Reizes wird von Blake (1989) eine reziproke Hemmung monokularer Neurone im primären visuellen Kortex angenommen. Ein anderes theoretisches Modell (Wolfe 1986) geht jedoch davon aus, daß binokularer Wettstreit und Stereopsis parallele und unabhängige Pfade visueller Verarbeitung darstellen. Der Mechanismus des Wettstreits wäre demnach ständig wirksam und die einheitliche binokulare Wahrnehmung immer eine Kombination von Fusion und Suppression in den beiden Verarbeitungswegen. Beide Theorien werden durch eine Vielzahl psychophysischer Experimente gestützt. Ihnen gemeinsam ist, daß sie von einer Unterdrückung der Information eines monokularen Kanals beim Wettstreit schon auf einer frühen Verarbeitungsstufe ausgehen.

Eine alternative Erklärung (Leopold & Logothetis 1999) versteht jedoch die wechselnde Wahrnehmung bei binokularem Wettstreit als Resultat von "Top-Down"-Prozessen bei unterschiedlicher Interpretation der präsentierten Reize. Diese Sicht-

weise stellt damit binokularen Wettstreit in eine Reihe mit anderen "multistabilen Phänomenen" wie z.B. mehrdeutigen Figuren, die große Ähnlichkeit in ihrer zeitliche Dynamik aufweisen. Für diese Theorie spricht auch, daß Neurone, deren Aktivität mit dem perzeptuellen Wechsel korreliert, eher in höheren visuellen Arealen zu finden sind. Die Aktivität von Zellen im primären visuellen Kortex bleibt jedoch entsprechend den unveränderten Reizeigenschaften weitgehend unberührt (Leopold & Logothetis 1996). Darüber hinaus findet sich im fMRI beim Menschen bei Darbietung rivalisierender Reize Aktivität in Hirnarealen (frontal und parietal), die bei subjektiv identischer, wechselnder Präsentation der Einzelreize nicht vorhanden ist (Lumer et al. 1998).

Für den Einfluß übergeordneter "musterbildender" Prozesse spricht auch, daß bei aus multiplen Teilen bestehenden Reizen jene Anteile, die eine einheitliche Figur ergeben oder die gleiche Farbe aufweisen, in der Wahrnehmung dominieren können, auch wenn sie unterschiedlichen Augen präsentiert werden (Kulikowski 1992, Whittle et al. 1968, zitiert nach Logothetis et al. 1996). Die Dominanzdauer jedes Reizes ist nicht nur durch physikalische Parameter bestimmt, sondern unterliegt einem gewissen Grad von willentlicher Kontrolle. Durch Training kann die Wechselrate beschleunigt werden (vgl. Leopold & Logothetis 1999). Auch werden Einflüsse der Bedeutung der Reize und verschiedener Persönlichkeitsfaktoren auf die Dominanzdauern diskutiert (vgl. Walker 1978). Für erkennbare Figuren beinhaltende Stimuli wurden gegenüber unstrukturierten Reizen erhöhte Dominanzraten gezeigt (Yu & Blake 1992). Dabei dominierte ein Gesicht über einen in Ortsfrequenz, Kontrast und Helligkeit angeglichenen Kontrollreiz. Eine ältere Untersuchung beschrieb außerdem, daß ein aufrecht dargebotenes Gesicht über ein dem anderen Auge präsentiertes umgekehrt dargebotenes Gesicht dominierte (Engel 1956, zitiert nach Blake 1989).

## 2.4 Gesichterwahrnehmung und Gehirn

Für den Menschen als soziales Lebewesen spielt die Wahrnehmung und Interpretation von Gesichtern eine wichtige Rolle. Entsprechend viele Untersuchungen liegen im Bereich der Neurowissenschaften vor, die sich mit unterschiedlichen Methoden mit verschiedenen Aspekten dieser Prozesse beschäftigen.

In Einzelzellableitungen an Affen fand man im Temporallappen (Sulcus temporalis superior und Gyrus temporalis inferior) Zellen, die spezifisch durch Gesichter aktiviert wurden (Übersicht bei Desimone 1991). Hierbei sind auf den Ausdruck eines Gesichts reagierende Zellen bevorzugt im Sulcus temporalis superior, für die Identität von Gesichtern sensible Neurone dagegen bevorzugt im Gyrus temporalis inferior lokalisiert (Hasselmo et al. 1989).

Bei Läsionen in entsprechenden Regionen im unteren temporalen Kortex des Menschen (z.B. durch Verschuß eines diese Areale versorgenden Gefäßastes der Arteria cerebri posterior) kann es zu einer Gesichterwahrnehmungsstörung (Prosopagnosie) kommen. Betroffene Patienten haben Probleme, bekannte Personen anhand ihres Gesichts, im Extremfall auch das eigene Gesicht im Spiegel, zu erkennen. Anhand weiterer Merkmale wie zum Beispiel der Stimme können jedoch Personen identifiziert werden. Ebenso kann die Fähigkeit zur Differenzierung des emotionalen Ausdrucks von Gesichtern erhalten bleiben. Die Störung kann kombiniert mit einer Agnosie für verschiedene andere Objekte, jedoch auch isoliert für Gesichter auftreten. Zu einer Prosopagnosie kommt es meist bei beidseitiger Schädigung, gelegentlich auch bei alleiniger rechtshemisphärischer Schädigung, jedoch kaum bei nur linksseitiger Läsion (Wacholtz 1996). Man geht heute davon aus, daß der unterschiedlichen hemisphärischen Beteiligung verschiedene Subformen der Prosopagnosie zugrundeliegen (vgl. Springer & Deutsch 1998).

Bildgebende Verfahren konnten die Rolle des inferotemporalen Kortex des Menschen in der Wahrnehmung von Gesichtern bestätigen. In Untersuchungen mit PET (Sergeant et al. 1992) und fMRI (Puce et al. 1995, Kanwisher et al 1997) zeigte sich eine teils beidseitige, teils nur rechtsseitige Aktivierung im Bereich des Gyrus fusiformis (Gyrus okzipitotemporalis lateralis) als Reaktion auf die Darbietung von Gesichtern. Weitere durch diese Methoden mit der Wahrnehmung von Gesichtern in Zusammenhang gebrachte Regionen sind der Gyrus okzipitalis inferior und Sulcus temporalis superior. Nach einem Modell von Haxby et al. (2000) besteht die Rolle des inferotemporalen Kortex in der Verarbeitung unveränderlicher Aspekte von Gesichtern wie der Identität, die Rolle des Sulcus temporalis superior dagegen in der Analyse veränderlicher Aspekte wie Blickrichtung, Gesichtsbewegungen und möglicherweise auch des emotionalen Ausdrucks.

In verschiedenen VEP-Studien wurden "gesichterspezifische" Komponenten gefunden: Jeffreys (1989) beschrieb als erster das sogenannte "Vertex-positive Potential" (VPP, gemessen gegenüber den Ohren als Referenz), das 150–200 ms nach Reizdarbietung auftritt und am besten über medialen zentralen und parietalen Elektroden ableitbar ist. Obwohl das VPP durch verschiedene Reize auslösbar ist, weist es eine größere Amplitude und kürzere Latenz für Gesichter als für andere komplexe oder einfache Stimuli auf. Ein ähnliches positives Potential um 150 ms wurde von Bötzel und Grüsser (1989) bei schematischen Gesichterreizen gefunden. Die Ausprägung des VPP ist nach Jeffreys & Tukmachi (1992) weitgehend unabhängig von der Art des verwendeten Reizes: Fotografien, realistische und schematische Darstellungen, Frontal- und Profilsichten, sogar "illusorische" aus verschiedenen Objekten zusammengesetzte Gesichter, führen zu einem ähnlich ausgeprägten VPP.

Bentin et al. (1996) untersuchten die Verarbeitung von Gesichtern verglichen mit der isolierter Gesichtskomponenten und anderer komplexer Objekte. Gesichter evo-

zierten dabei ein negatives Potential beidseits über temporalen Elektroden (N170, Nase als Referenz), das auch isoliert durch Augen, aber nicht durch die anderen Kontrollreize hervorgerufen wurde. Diese N170-Komponente war über der rechten Hemisphäre größer als über der linken. Korrespondierend zu den temporal lokalisierten negativen Anteilen der Potentialverteilung fand sich eine als P190 bezeichnete parietozentrale (an Elektrode Pz) Positivität ähnlich der in den vorausgegangenen Studien beschriebenen. Eine ähnliche Potentialverteilung wurde auch von George et al. (1996) beim Vergleich der Verarbeitung von Gesichtern mit "scrambled faces" (zufällig angeordnete Komponenten von in Teile zerlegten Gesichtern) gefunden. "Scrambled faces" führten zu einer Verspätung der positiven Komponente an Pz (Nase als Referenz), außerdem zu einer verstärkten Negativierung über den temporalen Elektroden. Die negativen Peaks waren sowohl für normale Gesichter als auch für den Kontrollreiz größer über der rechten Hemisphäre.

Von den meisten Autoren wird der Generator der beschriebenen Komponenten im okzipito-temporalen Kortex oder speziell dem Gyrus fusiformis vermutet. Genauerer Aufschluß über die generierenden Strukturen können Ableitungen von intrakraniell implantierten Elektroden geben, die im Rahmen der prächirurgischen Diagnostik bei Epilepsiepatienten durchgeführt wurden: Allison et al. (1994) leiteten mit subduralen Elektroden Potentiale von der Oberfläche des inferotemporalen Kortex ab. Sie fanden eine durch Gesichter hervorgerufene N200-Komponente im Bereich des Gyrus fusiformis und Gyrus temporalis inferior, die über beiden Hemisphären gleich ausgeprägt war. Klopp et al. (1999) leiteten Potentiale durch im Temporallappen implantierte Tiefenelektroden ab. Sie untersuchten den Einfluß von Gesichter- und Wortverarbeitung auf das Spontan-EEG mittels einer Spektralanalyse (event related spectral power - ERSP). Gesichter führten zu einer breitbandigen Erhöhung der Spektralleistung im Gyrus fusiformis 150–210 ms nach Reizdarbietung.

Einige der genannten Methoden erbrachten Hinweise auf eine ungleiche Beteiligung der Hemisphären mit größerer Bedeutung der rechten Hemisphäre für die Verarbeitung von Gesichtern. Eine Überlegenheit der rechten Hemisphäre wird darüber hinaus durch die Leistungen gesunder Versuchspersonen in Studien mit lateralisierter Reizdarbietung und durch Untersuchungen an Split-Brain-Patienten wahrscheinlich gemacht (Übersicht bei Rhodes 1985). In diesen finden sich außerdem Hinweise darauf, daß grundsätzlich beide Hemisphären zur Erkennung von Gesichtern in der Lage sind, jedoch unterschiedliche Strategien verfolgen. Für die linke Hemisphäre scheint eine analytische Verarbeitung einzelner Reizmerkmale charakteristisch zu sein, für die rechte (und im Normalfall überlegene) Hemisphäre dagegen eine Erfassung der Gesamtheit der Reizkonfiguration.

Ob der Erkennung von Gesichtern und anderen Objekten tatsächlich getrennte Verarbeitungssysteme zugrundeliegen, wird kontrovers diskutiert. Als Beleg für die Sonderrolle von Gesichtern wurde zum Beispiel der Inversionseffekt angesehen. Dieser be-

deutet, daß Darbietung in umgekehrter Orientierung die Erkennung von Gesichtern stärker beeinträchtigt als die Wahrnehmung anderer Reize. Ein solcher Effekt konnte jedoch auch bei Versuchspersonen gefunden werden, die trainiert wurden, differenzierte Unterscheidungen innerhalb einer Kategorie künstlicher Objekte ("greebles") zu treffen (Gauthier & Tarr 1997). Diese trainierten Versuchspersonen wiesen verglichen mit untrainierten im fMRI eine erhöhte Aktivierung im Bereich "gesichterspezifischer" Areale des Gyrus fusiformis auf. Ein ähnliches Aktivierungsmuster fand sich bei Experten in der Erkennung von Vögeln und Automobilen (Gauthier et al. 2000). Möglicherweise ist die visuelle Verarbeitung im inferotemporalen Kortex somit weniger nach verschiedenen Reizkategorien als nach verschiedenen Prozessen der Wahrnehmung (Treffer von Unterscheidungen innerhalb oder zwischen Kategorien) organisiert.

## 2.5 Emotionen und Gehirn

Aus biologischer Sicht sind Emotionen physiologische Reaktionsmechanismen, die sich in Anpassung an verschiedene überlebenswichtige Erfordernisse ausgebildet haben. Jeder emotionaler Zustand beinhaltet in unterschiedlichem Ausmaß zwei Komponenten: körperliche Veränderungen (Reaktionen des autonomen Nervensystems, Veränderung von Mimik und Haltung) sowie bewußte Wahrnehmung, die als Gefühl erlebt wird. Bereits Darwin beobachtete Ähnlichkeiten im emotionalen Ausdruck zwischen Menschen und Tieren und ging von einer genetischen Determinierung emotionaler Reaktionsweisen aus (vgl. LeDoux 1996). Ekman & Friesen (1971, zitiert nach Zimbardo 1992) konnten zeigen, daß sechs verschiedene "primäre" Emotionen (Freude, Trauer, Wut, Furcht, Überraschung, Ekel) von Menschen unterschiedlichster Kulturen auf ähnliche Art ausgedrückt und verstanden werden. Da sich diese Dissertation mit hirnelektrischen Korrelaten der Wahrnehmung emotionaler Gesichter beschäftigt, soll an dieser Stelle kurz darauf eingegangen werden, wie nach heutiger Auffassung Emotionen im Gehirn repräsentiert sind.

Emotionen werden stets auf den Dimensionen Valenz (positiv–negativ) und Arousal (aktivierend–desaktivierend) erlebt (Russel 1979). Speziell bezüglich der positiv–negativ–Dichotomie existiert eine Theorie, wonach diese im Hirn in einer entgegengesetzten hemisphärischen Lateralisation verankert ist. Der rechten Hemisphäre wird für negative, der linken für positive Emotionen eine größere Rolle zugesprochen. Darüber hinaus wird jedoch für die rechte Hemisphäre eine generell größere Bedeutung im Hinblick auf Emotionen postuliert. Beide Theorien werden gestützt durch verschiedene Untersuchungen an Personen mit einseitiger Hirnschädigung, an Epilepsiepatienten, sowie durch Experimente mit lateralisierter Reizdarbietung an gesunden Probanden (vgl. Silberman & Weingartner 1986, Springer & Deutsch 1998).

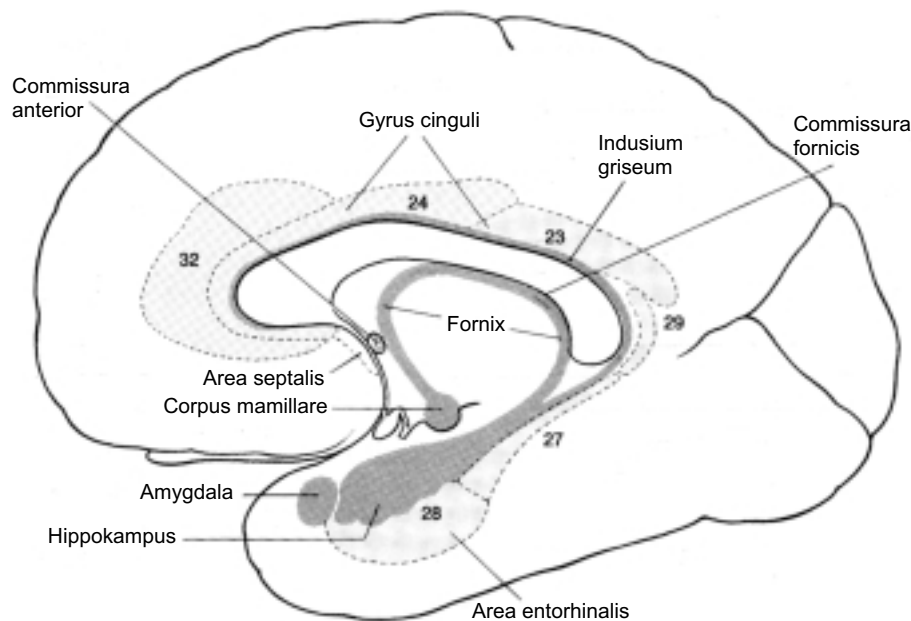


Abbildung 2.11: Die Komponenten des Limbischen Systems (nach Duus 1990).

Ein sehr einflußreiches Konzept der neurobiologischen Grundlage von Emotionen wurde in seinen Grundzügen 1937 von Papez entworfen und später von McLean ausgeweitet, das des limbischen Systems (vgl. LeDoux 1996). Kortikale Bereiche an der medialen Fläche der Hemisphären (Gyrus cinguli, Gyrus parahippocampalis, Präfrontalkortex), subkortikale Bereiche (Hippokampus, Amygdala) sowie Anteile des Thalamus und Hypothalamus werden als zum limbischen System gehörig angesehen (Abb. 2.11). Nach neueren Erkenntnissen kann das limbische System jedoch weder als eine funktionell abgrenzbare Einheit noch in seiner Gesamtheit als Grundlage von Emotionen angesehen werden. Einige seiner Anteile, wie anteriorer Thalamus, Corpus mamillare und Hippokampus, sind nach heutigem Wissen kaum an Wahrnehmung und Ausdruck von Emotionen beteiligt. Besonders der ursprünglich als Kern des limbischen Systems betrachtete Hippokampus hat eher Bedeutung im Rahmen des expliziten Gedächtnisses.

Eine zentrale Rolle in der zerebralen emotionalen Verarbeitung hat sich dagegen für die Amygdala bestätigt. Eine Reihe von Erkenntnissen darüber stammt aus Experimenten der Furchtkonditionierung an Tieren (vgl. LeDoux 1996). Läsionsstudien beim Menschen ergaben eine selektive Beeinträchtigung der Wahrnehmung von Furcht bei beidseitiger Amygdalaschädigung (Adolphs et al. 1999). Mit verschiedenen bildgebenden Verfahren wurde ebenfalls eine vermehrte Aktivierung der Amygdala des Menschen bei Präsentation von Gesichtern mit dem Ausdrucks der Furcht gefunden (Breiter et al. 1996, Morris et al. 1996). Während eine Beteiligung der Amygdala an der Emotion Furcht konsistent gezeigt werden konnte, ist ihre Bedeu-

tung für andere Emotionen negativer oder auch positiver Valenz weniger eindeutig geklärt. In einzelnen Studien fand sich eine Aktivierung der Amygdala auch in Reaktion auf Freude ausdrückende gegenüber neutralen Gesichtern (Breiter et al. 1996) oder hervorgerufen durch traurige, jedoch nicht durch wütende Gesichter (Blair et al. 1999). Anteile der Amygdala empfangen Projektionen von sensorischen Verarbeitungsarealen und sind dadurch an der Wahrnehmung emotional bedeutsamer Stimuli beteiligt. Andere Teile steuern autonome Reaktionen über ihre Verbindungen mit dem Hypothalamus sowie verschiedenen Zentren im Hirnstamm. Wechselseitige Projektionen von Amygdala und kortikalen Bereichen wie dem Präfrontalhirn und Gyrus cinguli werden dagegen mit der bewußten Wahrnehmung von Gefühlen in Zusammenhang gebracht (vgl. Iversen et al. 2000).

Während die hirnanatomischen Grundlagen der Verarbeitung emotionaler Reize zunehmend verstanden werden, ist der zeitliche Ablauf dieser Prozesse beim Menschen noch weniger geklärt. Einer Theorie der kognitiven Psychologie zufolge (Schachter & Singer 1962, zitiert nach Birbaumer & Schmidt 1998) ist integraler Bestandteil jeder emotionalen Wahrnehmung ein bewußter Bewertungs- oder Attributionsvorgang, durch den sie ihre spezifische Qualität erhält. Um in der Evolution einen Selektionsvorteil zu erzielen, sollte jedoch vor allem die Wahrnehmung negativer und potentiell bedrohlicher Reize schnell und effizient erfolgen. Tatsächlich gibt es in psychophysischen Experimenten Hinweise darauf, daß emotionale Verarbeitung bei minimalem Stimulus-Input und praktisch ohne bewußte Beteiligung erfolgen kann. So werden zum Beispiel auch bei subliminaler Darbietung wiederholte Reize positiver beurteilt als neue Reize (Kunst-Wilson & Zajonc 1980). Bei phobischen Personen konnten Angstreaktionen hervorgerufen werden, auch wenn der auslösende Reiz durch eine Rückwärtsmaskierung nicht bewußt wahrgenommen wurde (Öhman & Soares 1994). Weiterhin zeigte sich eine Aktivierung der Amygdala im PET und fMRI auch ohne bewußte Wahrnehmung eines negativen Stimulus (Whalen et al. 1998, Morris, Öhman & Dolan 1998).

Diese Verfahren konnten demnach zeigen, daß emotionale Inhalte bereits vor jeder bewußten Wahrnehmung unterschieden wurden. Aufgrund ihrer begrenzten zeitlichen Auflösung sind bildgebende Verfahren jedoch nicht in der Lage, diese Prozesse auch im zeitlichen Ablauf zu verfolgen und Aufschlüsse über deren Geschwindigkeit zu geben. Hierzu würden sich elektrophysiologische Messungen anbieten. Bisherige VEP-Studien, die sich mit der Verarbeitung von Gesichtern oder anderer emotionaler Reize beschäftigten (z.B. Kestenbaum & Nelson 1992, Carretié et al. 1996, Orozco & Ehlers 1998), fanden jedoch lediglich Effekte in relativ späten Zeitbereichen, oder beschränkten ihr Interesse von vornherein auf spätere "kognitive" Komponenten.





# Kapitel 3

## Fragestellung

In der vorliegenden Dissertation wird die zerebrale Verarbeitung von Gesichterreizen beim Menschen mit psychophysischen und elektrophysiologischen Methoden untersucht. Mit dem EEG wurde eine Methode gewählt, die durch ihre hohe zeitliche Auflösung in der Lage ist, Prozesse der Wahrnehmung von Gesichtern in ihrem zeitlichen Ablauf zu verfolgen. Eine Vielkanalableitung des EEG in Verbindung mit einer topographischen Darstellung des VEP erlaubt eine differenzierte Darstellung der mit diesen Vorgängen verbundenen hirnelektrischen Aktivität. Innerhalb des Verlaufs dieser Aktivierung sollen einzelne Verarbeitungsschritte in Form von Komponenten des VEP isoliert werden. Diese Komponenten können quantitativ erfaßt werden hinsichtlich der Latenz ihrer maximalen Ausprägung, Feldstärke und topographischen Verteilung. Im Hinblick auf ihren Einfluß auf diese Parameter und psychophysische Maße der Wahrnehmungsleistung sollen verschiedene Fragenkomplexe eine Rolle spielen:

Eine zentrale Frage dieser Untersuchung gilt dem Einfluß des emotionalen Ausdrucks von Gesichtern (positiv, negativ, neutral) auf die evozierte Hirnaktivität. Psychophysische Untersuchungen und bildgebende Verfahren legen nahe, daß die Bewertung des emotionalen Gehaltes von Reizen bereits auf einer frühen automatisierten Verarbeitungsstufe (ohne Beteiligung bewußter Prozesse) erfolgen kann. In diesem Experiment soll der Einfluß des emotionalen Ausdrucks auf Komponenten des VEP verfolgt und geprüft werden, ob Unterschiede in der Latenz, Feldstärke und topographischen Verteilung schon in frühen Zeitbereichen nach Darbietung von Gesichtern verschiedener emotionaler Valenz zu finden sind. Diese Einflüsse sollen bei spontaner, für die Aufgabe nicht relevanter, Verarbeitung des emotionalen Ausdrucks untersucht und nach ihrer Abhängigkeit vom Gesichtsfeldort aufgeschlüsselt werden. Zusätzlich wird ein Effekt der emotionalen Ausprägung auf die Wahrnehmungsleistung überprüft.

Verschiedene Methoden ergaben Hinweise auf eine größere Bedeutung der rechten Hemisphäre in der Verarbeitung von Gesichtern. In diesem Experiment wird bei Dar-

bietung sehr einfacher schematischer Gesichter im rechten oder linken Gesichtsfeld der Einfluß der verschiedenen Lokalisation auf die Wahrnehmungsleistung untersucht. Weiterhin sollen Effekte dieser unterschiedlichen hemisphärenbezogenen Darbietung auf das VEP deutlich gemacht werden.

Eine weitere Frage betrifft den Einfluß von Präsentation im binokularen Wettstreit auf die Wahrnehmung von Gesichterreizen. Die Mechanismen des binokularen Wettstreits wurden bislang überwiegend mit sehr einfachen Sehreizen, wie zum Beispiel Streifenmustern verschiedener Orientierung, untersucht. Einzelne Untersuchungen mit kognitiv anspruchsvolleren Stimuli, wie zum Beispiel auch Gesichtern, ergaben Hinweise auf einen Einfluß der Reizbedeutung oder Konfiguration auf deren Dominanz oder Suppression. Dieses Experiment soll prüfen, wie sich dichoptische Darbietung bei lateralisierter Präsentation von Gesichtern auswirkt. Speziell der Bereich von kurzen Darbietungsdauern (unter 150 ms), bei denen in bisherigen psychophysischen Experimenten keine Dominanz, sondern eine Überlagerung der Reize in der Wahrnehmung gefunden wurde, soll hierbei von Interesse sein. Elektrophysiologische Messungen und eine spezielle Versuchsanordnung können helfen zu objektivieren, ob bei kurzzeitiger Präsentation der Mechanismus des Wettstreits tatsächlich noch nicht wirksam ist, oder nur subjektiv keine Dominanz bzw. Suppression eines Reizes wahrgenommen wird.

Die experimentelle Anordnung zur Untersuchung dieser Fragenkomplexe (vgl. Kapitel 4 - Methoden) beinhaltet eine lateralisierte, also hemisphärenbezogene, Präsentation von Gesichtern verschiedener emotionaler Ausprägung in Kombination mit zufälligen Anordnungen der einzelnen Gesichtselemente (sogenannten "scrambled faces"). Dies sollte gewährleisten, daß jeweils im rechten und linken Gesichtsfeld in Kontrast und Helligkeit vergleichbare Reize erschienen, und Asymmetrien der evozierten Aktivität bedingt durch Helligkeitsunterschiede in den beiden Gesichtsfeldhälften nicht auftraten.

Die Reize werden in Wettstreit- und Kontrollbedingungen dargeboten. Die Kontrollbedingung beinhaltet eine für beide Augen gleiche Anordnung der Stimuli. Diese soll zur Überprüfung von Unterschieden der Wahrnehmungsleistung und elektrophysiologischer Korrelate bei Projektion der Gesichter in die linke bzw. rechte Hemisphäre dienen. In den Wettstreitbedingungen ist die Anordnung der Reize verschieden für das rechte und linke Auge. Durch Überlagerung dieser unterschiedlich angeordneten Reize wird damit beiden Hemisphären physikalisch vergleichbare aber uneindeutige Information zugeführt. Die Aufgabe der Versuchspersonen besteht jeweils in der Angabe der Seite, auf der das Gesicht wahrgenommen wurde. Diese Frage ist in den Wettstreitbedingungen durch die dichoptische Überlagerung der Reize in beiden Gesichtsfeldhälften nicht eindeutig beantwortbar. Mittels einer "forced choice"-Aufgabe werden die Versuchspersonen jedoch gezwungen, sich zwischen den Reizen im rechten und linken Gesichtsfeld zu entscheiden. Die Auswertung des Antwortverhaltens

in dieser Situation erlaubt Aufschlüsse darüber, ob hemisphärische Lateralisation oder Augendominanz für die Wahlreaktion der Versuchspersonen ausschlaggebend ist. Eine eventuell vorhandene Augendominanz kann bei den verwendeten Reizbedingungen unabhängig von der subjektiven Angabe der Versuchspersonen über eine wahrgenommene Dominanz aus den psychophysischen Daten statistisch bestimmt werden.

Für verschiedene höhere kortikale Funktionen sind geschlechtsspezifische Unterschiede im Ausmaß ihrer hemisphärischen Lateralisierung beschrieben, weshalb viele Untersuchungen dieser Funktionen auf ein einheitliches Versuchspersonenkollektiv von Männern oder Frauen zurückgreifen. In diese Untersuchung wurden jedoch Probanden beider Geschlechter einbezogen und geschlechtsspezifische Effekte in den psychophysischen und elektrophysiologischen Daten statistisch erfaßt.



# Kapitel 4

## Methoden

### 4.1 Auswahl der Reize

Für die geplante Untersuchung wurden nach ihrer emotionalen Valenz möglichst eindeutig als positiv, neutral oder negativ klassifizierbare Gesichter benötigt. Diese sollten darüber hinaus standardisiert sein, das heißt gleiche Helligkeit, keine unterschiedlichen persönlichen Merkmale, keinen unterschiedlichen Hintergrund aufweisen. Schematische Gesichter können diese Anforderungen am besten erfüllen. Außerdem finden sich in der Literatur Beispiele für ähnliche VEP-Komponenten bzw. Antwortcharakteristika einzelner Zellen ausgelöst durch schematische verglichen mit realen Gesichtern (Jeffreys & Tuckmachi 1992, Kobatake & Tanaka 1994). Somit kann man von einer zumindest teilweise gleichen Verarbeitung dieser Reize ausgehen.

Für die Beurteilung des emotionalen Ausdrucks spielen Merkmale wie Mundform, Stellung der Augenbrauen u.a. eine wichtige Rolle. Wir bereiteten deshalb eine Liste schematischer Gesichter vor, bei denen Mundform (3 Möglichkeiten), Augenform (3 Möglichkeiten), Augenbrauenstellung (3 Möglichkeiten) und Augenabstand (3 Möglichkeiten), variiert und untereinander kombiniert wurden. Die so erstellten Gesichter sollten auf einer Skala von  $-3$  (am negativsten) bis  $+3$  (am positivsten) beurteilt werden. Der verwendete Fragebogen ist im Anhang auf S. 98 zu sehen. Nach der Beurteilung durch 10 Versuchspersonen wurden die Gesichter mit dem höchsten und niedrigsten Mittelwert sowie ein Gesicht mit dem Mittelwert 0 für das Experiment ausgewählt. Darüber hinaus wurde als Kontrollreiz eine zufällige Anordnung der Gesichtselemente, ein sogenanntes "scrambled face", entworfen. In Abb. 4.1 sind die verwendeten positiven, neutralen und negativen Gesichter sowie das "scrambled face" aufgeführt.

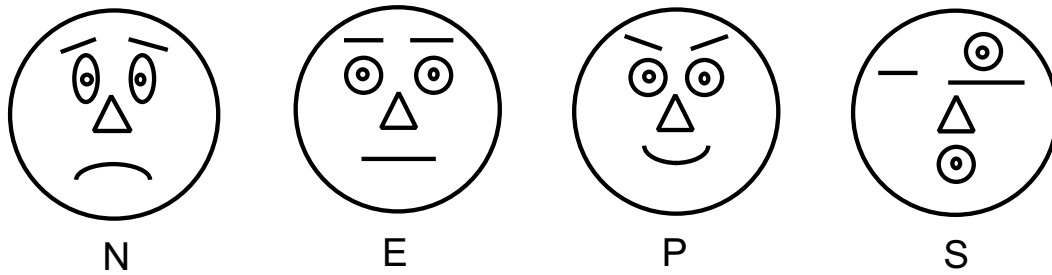


Abbildung 4.1: Die im Experiment verwendeten Gesichter: *N*egativ (*N*), *n**E*utral (*E*), *P*ositiv (*P*), *S*crambled (*S*)

## 4.2 Stimulation

Die Reize wurden sowohl gesichtsfeld- als auch augenspezifisch präsentiert, wobei Wettstreit- und Kontrollbedingungen unterschieden werden konnten (Abb. 4.2 und 4.3). Ein spezieller experimenteller Aufbau unter Verwendung einer Spiegelkonstruktion ermöglichte es, beiden Augen getrennt jeweils Gesicht und "scrambled face" rechts und links von einem zentralen Fixationspunkt darzubieten.

Abb. 4.2 zeigt schematisch Anordnung und Projektionsweg der Reize in der Kontrollbedingung. Das Gesicht befand sich dabei übereinstimmend für beide Augen im linken oder rechten Gesichtsfeld, im jeweils entgegengesetzten Gesichtsfeld dagegen das "scrambled face". Die Fusion beider Bilder mit Hilfe der Spiegelkonstruktion führte dazu, daß eine Hemisphäre (in der Abbildung die rechte) mit dem Gesicht, die andere mit dem "scrambled face" stimuliert wurde. Für die Versuchsperson ist in dem Fall eindeutig das Gesicht auf der linken Seite zu erkennen. Diese Bedingungen sollten die Wahrnehmungsleistung der Versuchspersonen im linken und rechten Gesichtsfeld messen und deren Aufmerksamkeit überprüfen. In der Wettstreitbedingung (Abb. 4.3) unterschied sich die Anordnung der Reize für beide Augen (für ein Auge war das Gesicht linksseitig, für das andere rechtsseitig lokalisiert, mit dem "scrambled face" wiederum im jeweils entgegengesetzten Gesichtsfeld). Damit wurden hier über die Spiegelkonstruktion jeder Hemisphäre dichoptisch überlagerte Bilder von Gesicht und "scrambled face" zugeführt. Diese Reize sind auf beiden Seiten identisch und die Frage nach der Lokalisation des Gesichts ist nicht eindeutig beantwortbar. Innerhalb der Wettstreitbedingungen wurde das Gesicht entweder im nasalen oder temporalen Gesichtsfeld beider Augen präsentiert. Durch Kombination der 4 Anordnungsarten mit den 3 emotionalen Ausprägungen ergaben sich insgesamt 12 experimentelle Bedingungen, die aus Tabelle 4.1 ersichtlich sind.

Die Reize wurden mit hohem Kontrast (97 %) auf weißem Hintergrund auf einem 21-Zoll-Monitor in 78 cm Entfernung dargeboten. Unter Einbeziehung des durch die Spiegel verlängerten Lichtwegs ergab sich eine Distanz von 83 cm. Der Durchmesser der Gesichter betrug 4,4 cm ( $3^\circ$  Sehwinkel), und diese wurden mit ihrem Mittelpunkt

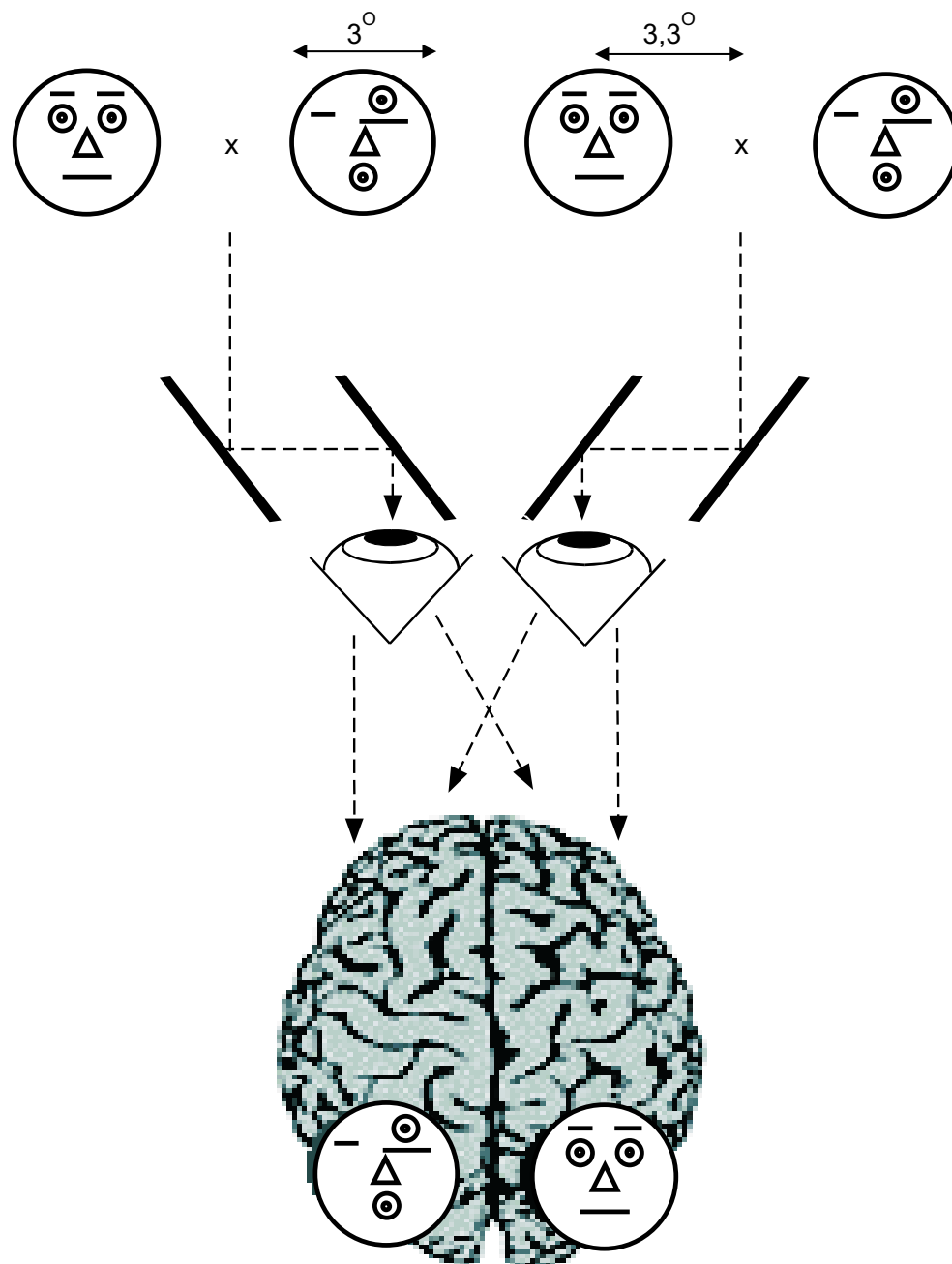


Abbildung 4.2: Schematische Darstellung der Reize in der Kontrollbedingung: Das Gesicht befindet sich im linken, das "scrambled face" im rechten Gesichtsfeld, für beide Augen übereinstimmend (x - Fixationspunkt). Eine analoge Anordnung wurde mit rechtsseitiger Lokalisation des Gesichts verwendet. Mit diesen Bedingungen sollte in erster Linie die Wahrnehmungsleistung der Versuchsperson gemessen bzw. deren Aufmerksamkeit überprüft werden.

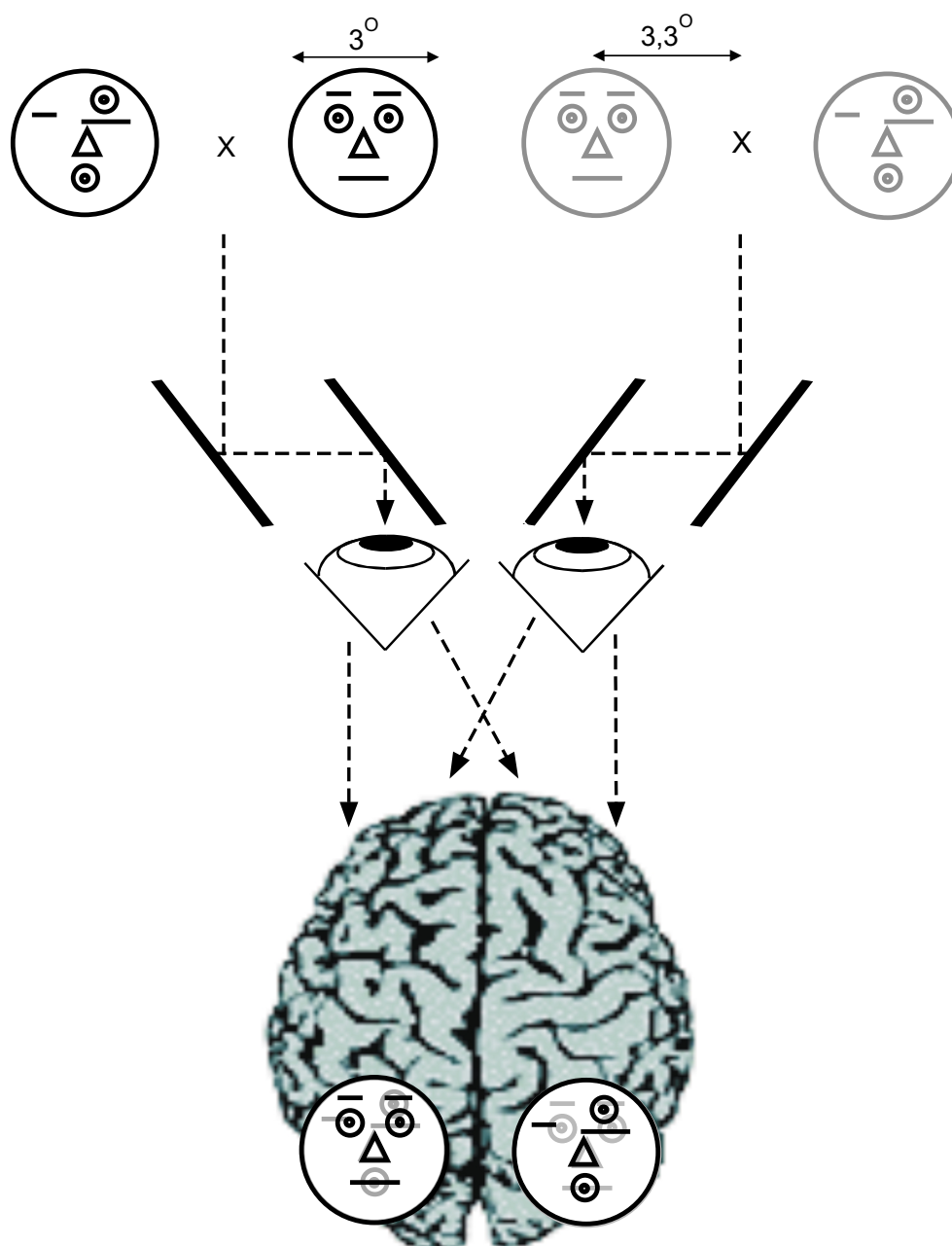


Abbildung 4.3: Schematische Darstellung der Reize in der Wettstreitbedingung: Für das linke Auge befindet sich das Gesicht im rechten, für das rechte im linken Gesichtsfeld (x - Fixationspunkt). Die Spiegelkonstruktion ermöglicht die Überlagerung der entgegengesetzten Bilder der Augen in beiden Hemisphären im visuellen Kortex. Bei Dominanz des linken Auges wird das Gesicht eher im rechten, bei Dominanz des rechten Auges eher im linken Gesichtsfeld wahrgenommen.



Tabelle 4.1: *Durch Kombination der 4 Reizanordnungen (Gesicht nasal, temporal, links, rechts) und 3 emotionalen Ausprägungen ergaben sich 12 experimentelle Bedingungen.*

	NASAL	TEMPORAL	LINKS	RECHTS
NEGATIV	WETTSTREIT		KONTROLLE	
NEUTRAL				
POSITIV				

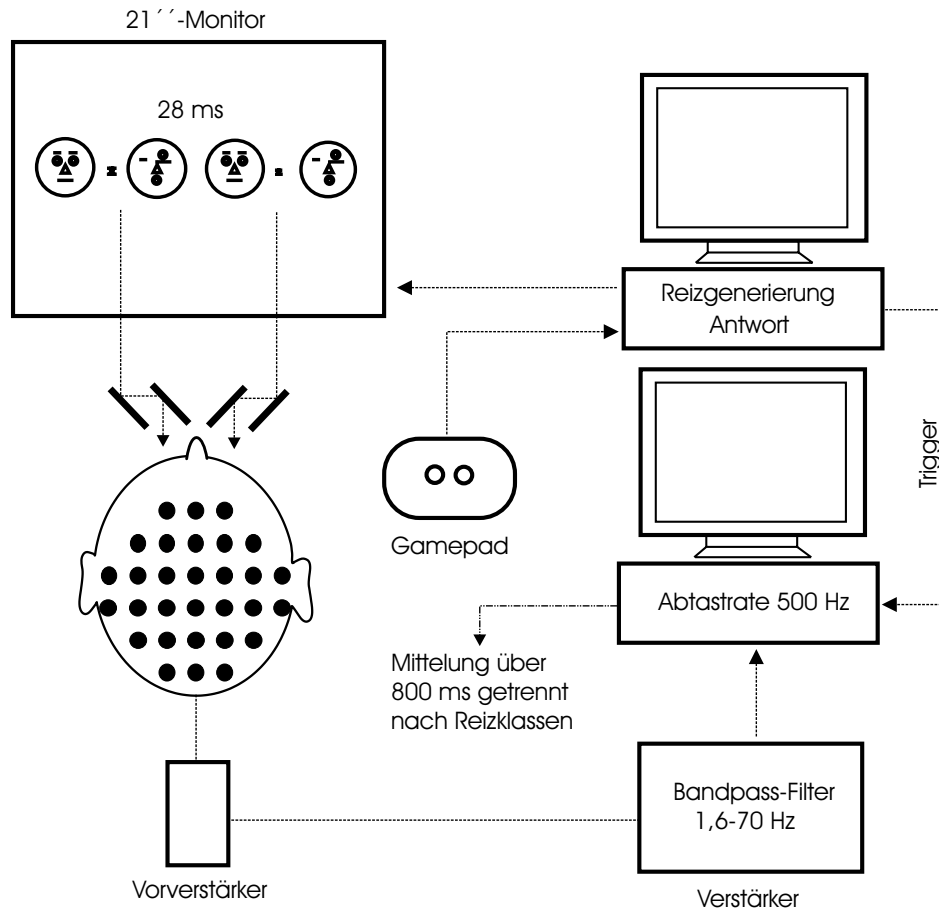
4,7 cm ( $3,3^\circ$  Sehwinkel) rechts oder links von dem zentralen Fixationspunkt gezeigt. Die Hintergrundleuchtdichte des Bildschirms betrug im Mittel  $60 \text{ cd/m}^2$ . Die Darbietung der Reize bewirkte eine geringe Leuchtdichtenänderung von  $0,7 \text{ cd/m}^2$ .

Um die zentrale Fixation zu gewährleisten und den Einfluß von Augenbewegungen auszuschließen, wurde die Präsentationsdauer möglichst kurz gewählt. Außerdem sind Unterschiede der Wahrnehmungsleistung zwischen den verschiedenen Bedingungen eher im Grenzbereich der Wahrnehmbarkeit zu erwarten. Wir entschieden uns für eine Darbietungsdauer von 28 ms, die sich in Vorversuchen als ausreichend erwiesen hatte, um eine mittlere Rate korrekter Antworten von 87% zu erzielen.

Um bei Helligkeitsreizen ein stabiles VEP zu erhalten, reichen etwa 30-70 Mittelungen aus. Für die Wettstreitbedingungen wurden pro Klasse 98 Reize verwendet, um auch nach dem Ausschluß artefaktbehafteter Segmente noch ausreichend Daten für die Mittelung zur Verfügung zu haben. Die Kontrollbedingungen sollten in erster Linie die Wahrnehmungsleistung der Versuchspersonen messen. Um die Gesamtdauer des Experiments für die Probanden tolerabel zu halten, wurden in diesen Bedingungen nur 14 Darbietungen pro Reizklasse verwendet. Die Reize wurden gleichmäßig auf 14 Durchgänge mit einer Länge von ca. 80 s aufgeteilt, wobei die Reihenfolge innerhalb jedes Durchganges randomisiert wurde. Das randomisierte Interstimulusintervall war zwischen 1 und 2 Sekunden gleichverteilt.

## 4.3 Apparatur

Abb. 4.4 gibt eine Übersicht über die verwendete Apparatur. Über die Spiegelkonstruktion wurden die Reize auf einem 21-Zoll-Monitor präsentiert, und die Versuchspersonen antworteten darauf durch Knopfdruck. Die Aufgabe der Probanden bestand darin, die Seite anzugeben, auf der der Reiz gesichtsähnlicher aussah (Wahlpflicht-Reaktionszeitaufgabe mit 2 Alternativen). Die zum Antworten verwendete Hand wurde systematisch gewechselt, um Händigkeitseffekte zu vermeiden. Außerdem wurde die Händigkeit jeder Versuchsperson erfaßt (siehe 4.5). Die Steuerung der Darbietung erfolgte über den außerhalb des Versuchsraums befindlichen Reiz-

Abbildung 4.4: *Technischer Versuchsaufbau*

rechner, der außerdem die Reaktionszeit und die Seite des Knopfdrucks für jeden gezeigten Reiz erfaßte.

Gleichzeitig wurde das EEG in 30 Kanälen (Elektrodenanordnung in Abb. 4.5) von der Kopfoberfläche abgeleitet, über Vorverstärker und Hauptverstärker um den Faktor  $10^5$  verstärkt und von 1,6 bis 70 Hz analog gefiltert. Durch den mit einer Analog-Digital-Wandlerkarte ausgestatteten Meßrechner wurde das gesamte Spontan-EEG mit einer Abtastrate von 500 Hz aufgezeichnet. Als Meßreferenz diente eine zentral (etwa bei Cz nach dem internationalen 10-20-System) gelegene Elektrode, für die Auswertung erfolgte eine Umrechnung auf die Mittelwertsreferenz.

Information über die Reizdarbietung wurde dem Meßrechner in Form eines Triggers zugeführt. Bei diesem Trigger handelte es sich um ein rechteckförmiges Signal, dessen unterschiedliche Länge die verschiedenen Reizklassen kodierte. Der Trigger markierte in einem zusätzlichem Kanal den Zeitpunkt der Reizpräsentation und ermöglichte eine spätere getrennte Mittelung nach experimentellen Bedingungen.

## 4.4 Versuchsablauf

Vor Beginn des Experiments wurden für alle Versuchspersonen folgende Daten erfaßt: Geschlecht, Alter, Händigkeit (Fragebogen nach Oldfield 1971), Visus rechts, links und beidäugig, eventuelle chronische Krankheiten und Augenoperationen, Tragen von Brillen und Kontaktlinsen sowie das bevorzugte Auge. Zur Bestimmung des bevorzugten Auges diente ein einfacher Verhaltenstest, bei dem mit einer vor das Gesicht gehaltenen Röhre festgestellt wurde, welches Auge die Versuchsperson bei der Fixation bevorzugte.

Zur EEG-Ableitung wurden 30 Elektroden sowie eine zusätzliche Erdungselektrode auf der Kopfoberfläche angebracht, außerdem 2 bipolare Elektrodenpaare an der rechten und linken Schläfe und am oberen und unteren linken Orbitalrand zur Registrierung des horizontalen und vertikalen EOGs. Nach Aufrauung der Kopfhaut wurden Goldcupelktroden mit Grass-Elektrodenpaste-EC 2 befestigt.

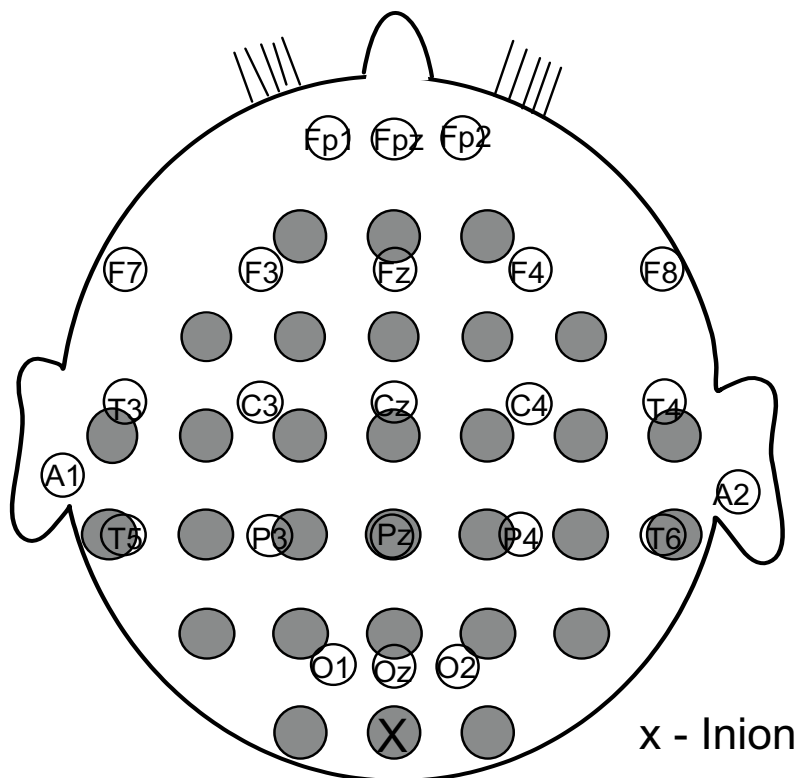


Abbildung 4.5: Die verwendete Elektrodenanordnung in Beziehung zum internationalen 10-20-System (Jaspers 1958). Die hinterste Elektrodenreihe wurde direkt über dem Inion angebracht. In anterior-posterior- und in rechts-links-Richtung betrugen die Abstände zwischen den Elektroden 15% der Distanz Nasion-Inion.

Der Elektrodenübergangswiderstand wurde kontrolliert und unter 5 kOhm gehalten. Die am weitesten okzipital gelegene Elektrodenreihe war direkt oberhalb des Inions angebracht. Die Abstände zwischen den Reihen betrugen sowohl in anterior-posterior- als auch in rechts-links-Richtung 15% der Distanz Nasion-Inion. Verglichen mit dem zur EEG- Ableitung gebräuchlichen internationalen 10-20-System (Jaspers 1958) kommt dabei die vorderste Elektrode 5% vor Fz zu liegen. Im Hinblick auf die geplante topographische Darstellung ist die gewählte Elektrodenanordnung dem 10-20-System überlegen, da sie mehr Meßpunkte einbezieht. Die Elektrodenpositionen sind in Abb. 4.5 gezeigt.

Nach Anbringen der Elektroden nahm die Versuchsperson auf einem bequemen Stuhl in dem abgedunkelten Versuchsraum Platz und stellte die vor dem Monitor befindliche Spiegelkonstruktion so ein, daß sich die Bilder des rechten und linken Auges überlagerten. Der Kopf der Versuchsperson befand sich während des Experiments in einer Kinn- und Stirnstütze.

Die Versuchsperson wurde instruiert, durch Knopfdruck die Seite anzugeben, auf der der dargebotene Reiz gesichtsähnlicher aussah, und außerdem aufgefordert, so schnell wie möglich und in jedem Falle zu antworten. Vor jedem experimentellen Durchgang erschien eine Bildschirmanweisung, welche die zum Antworten zu verwendende Hand bestimmte. Die EEG-Aufzeichnung wurde vom Versuchsleiter auf einem Kontrollmonitor mitverfolgt. Hierdurch konnten Durchgänge mit hoher Artefaktzahl wiederholt, und gegebenenfalls Elektroden korrigiert werden. Der Präsentation der Gesichter vorangestellt wurden drei Durchgänge mit Schachbrettmuster-Umkehr-Stimulation (beidseitig, lateralisiert links, lateralisiert rechts). Dieses in der klinischen Diagnostik verbreitete VEP zeigt einen typischen Verlauf und wurde von uns angewendet, um zu kontrollieren, ob unsere Versuchsbedingungen bei allen Versuchspersonen zu einem normalen Potential führen. Die VEPs konnten hierbei online gemittelt und auf dem Kontrollmonitor mitverfolgt werden. Die Pausen zwischen den Messungen wurden von den Versuchspersonen selbst bestimmt. In der Regel wurde nach der Hälfte der Durchgänge eine ca. 30-minütige Pause, auf Wunsch mit Kaffee, Tee und Kuchen, eingelegt.

## 4.5 Versuchspersonendaten

31 freiwillige Versuchspersonen, überwiegend Studenten, nahmen unentgeltlich an der Studie teil. 12 davon waren Frauen, 19 Männer, 27 Rechtshänder, 4 Linkshänder. Der Altersdurchschnitt lag bei 27 Jahren (Minimum 19, Maximum 39 Jahre). Alle Probanden waren frei von chronischen Krankheiten, hatten in der Vorgeschichte keine Augenoperationen und zeigten normalen oder auf normal korrigierten Visus, mit einer Ausnahme. Bei dieser Versuchsperson betrug der Visus einseitig rechts und links 0,68. Jedoch auch für diese Versuchsperson waren die Gesichter auf dem

Monitor in der gegebenen Distanz gut zu erkennen, und ihre Wahrnehmungsleistung unterschied sich nicht von der anderer Studienteilnehmer. 16 Versuchspersonen trugen während des Experiments Brillen oder Kontaktlinsen. Bei der Testung vor dem Experiment ergab sich eine Bevorzugung des rechten Auges für 18, eine Bevorzugung des linken Auges für 13 der 31 Probanden. Eine Tabelle mit den Versuchspersonendaten findet sich im Anhang auf S. 97.

## 4.6 Auswertung

Die Antwort der Versuchspersonen wurde für jede Reizdarbietung in Form von Reaktionszeit und Seite des Knopfdrucks aufgezeichnet. Daraus erfolgte für jede Reizbedingung eine Berechnung der mittleren Reaktionszeit und der Anzahl der Antworten für die linke und rechte Seite. Darüber hinaus wurde die Augendominanz aus den Antwortdaten mit Hilfe eines Binomialtests bestimmt (vgl. Ergebnisse - S. 44).

Nach der Messung erfolgte eine Überprüfung der in binärer Form vorliegenden EEG-Dateien auf Artefakte. Dabei wurden jeweils Abschnitte vom Zeitpunkt der Reizdarbietung bis 800 ms danach berücksichtigt. Segmente mit Augenbewegungen, Muskelartefakten, gelösten Elektroden oder stark ausgeprägten Alphawellen wurden markiert und von der späteren Mittelung ausgeschlossen.

Danach wurde für jede Reizklasse eine Mittelung der verbleibenden artefaktfreien Segmente durchgeführt. Bei den in erster Linie zur Kontrolle der Wahrnehmungsleistung dienenden Kontrollbedingungen der Gesichter war die Anzahl der Reizwiederholungen pro einzelner experimenteller Bedingung zu gering, um ein stabiles evoziertes Potential zu erhalten. Um sie dennoch in die elektrophysiologische Analyse einbeziehen zu können, wurden bei diesen Bedingungen die verschiedenen emotionalen Ausprägungen zusammengefaßt. Damit ergab sich für die Lokalisation des Gesichts im linken bzw. rechten Gesichtsfeld jeweils ein evoziertes Potential.

Durch Spline-Interpolation der Werte aller Elektroden wurden topographische Karten der evozierten Hirnaktivität für die verschiedenen Bedingungen erzeugt. Als datenreduzierende und objektive Größe zur Charakterisierung dieser Karten kam die Global Field Power (GFP) zur Anwendung (vgl. Methodische Grundlagen - S. 18). Ausgehend von den Grand-Mean-Daten (Mittelwert über alle Versuchspersonen für die jeweilige Bedingung) erfolgte die Definition von für die weitere Analyse bedeutsamen Zeitfenstern (vgl. Ergebnisse - S. 48). In diesen Zeitbereichen wurden für jede Versuchsperson die individuellen VEP-Komponenten in Form der jeweils größten lokalen GFP-Maxima ermittelt. Diese GFP-Maxima sind charakterisiert durch ihre Amplitude, Latenz und die zugehörige Topographie in Form der Zentroide (x- und y-Koordinaten der negativen und positiven Schwerpunkte des elektrischen Feldes jeder Karte, vgl. Methodische Grundlagen S. 19). In der statistischen Auswertung

wurden die verschiedenen experimentellen Bedingungen hinsichtlich ihres Einflusses auf diese Größen in multifaktoriellen Varianzanalysen (ANOVAs) mit Hilfe des Programms SPSS untereinander verglichen.

# Kapitel 5

## Ergebnisse

In dem dieser Arbeit zugrundeliegenden Experiment wurden Gesichter unterschiedlichen emotionalen Ausdrucks kurzzeitig lateralisiert in Wettstreit- und Kontrollanordnung dargeboten. Dabei sollten die Versuchspersonen in einer Wahlpflicht-Reaktionszeitaufgabe die Seite mit dem gesichtsähnlicheren Reiz angeben. Reaktionszeiten sowie korrekte Antworten wurden erfasst. Gleichzeitig erfolgte die EEG-Ableitung zur Gewinnung der evozierten Potentiale.

Die folgende Darstellung der Ergebnisse geht zunächst auf die psychophysischen Daten ein. Es wird das in den Wettstreitbedingungen gefundene Phänomen der Augendominanz erläutert sowie der Einfluß der verschiedenen Bedingungen auf Diskriminationsleistung und Reaktionszeiten der Probanden untersucht. Danach werden im Abschnitt Elektrophysiologie die Effekte der Darbietungsart und des emotionalen Ausdrucks auf die evozierte Hirnaktivität beschrieben.

### 5.1 Psychophysik

#### 5.1.1 Augendominanz

Verschiedene Methoden ergaben Hinweise auf Hemisphärenunterschiede in der Wahrnehmung von Gesichtern (vgl. Grundlagen - S. 22). Bei den von uns verwendeten Versuchsbedingungen mit dichoptischer Überlagerung der Reize für beide Hemisphären wurde jedoch ein Antwortverhalten auffällig, das nicht durch Hemisphärenunterschiede erklärbar ist. Bei den meisten Probanden zeigte sich eine je nach Versuchsbedingung (Gesicht nasal versus temporal im Gesichtsfeld) entgegengesetzte Antworttendenz. Abb. 5.1 zeigt die Daten einer repräsentativen Versuchsperson. Bei Lokalisation des Gesichts im nasalen Gesichtsfeld wurde dieses häufiger links, bei Lokalisation im temporalen Gesichtsfeld häufiger rechts wahrgenommen. Ein solches Antwortverhalten wird verständlich, wenn man die den einzelnen Augen präsentierten Reize betrachtet. Die in den Antworten überwiegende Seite entspricht bei

























	   	   	   	   	   	   
	nasal	temporal	nasal	temporal	nasal	temporal
Antwort L	72	32	69	23	79	35
Antwort R	26	66	29	75	19	63

Abbildung 5.1: Daten einer VP mit Dominanz des rechten Auges: Anzahl der Antworten für die rechte und linke Seite in den verschiedenen experimentellen Bedingungen (Anordnung der Reize dargestellt durch die Symbole). Bei Lokalisation des Gesichts im nasalen Gesichtsfeld wurde dieses häufiger links, bei Lokalisation im temporalen Gesichtsfeld häufiger rechts wahrgenommen, jeweils entsprechend dem Reiz für das rechte Auge.

der gezeigten Versuchsperson in beiden Fällen dem Reiz, der dem rechten Auge dargeboten wurde. Dieses Phänomen ist somit am ehesten mit der wiederholten Dominanz eines Auges bei Darbietung dichoptisch überlagerter Reize zu erklären, weshalb es von uns als "funktionelle Augendominanz" bezeichnet wurde. Die Daten der meisten Probanden zeigten ein derartiges Antwortmuster in unterschiedlich starker Ausprägung.

Durch Binomialtests wurde für alle Versuchspersonen überprüft, ob dem Antwortverhalten eine signifikante Dominanz eines Auges entsprach. Bei den entgegengesetzten Reizbedingungen (Gesicht nasal bzw. temporal) zeigt sich das Dominieren eines Auges im Überwiegen jeweils verschiedener Seiten bei den Antworten. Deshalb wurden die Antwortanzahlen der linken Seite bei Lokalisation des Gesichts im nasalen Gesichtsfeld und der rechten Seite bei Lokalisation im temporalen Gesichtsfeld (die in Abb. 5.1 grau unterlegten Bereiche) addiert und zu der Gesamtantwortzahl in Beziehung gesetzt. Führte ein Binomialtest mit diesen Werten zum Erreichen des Signifikanzniveaus von 5%, wurde der Versuchsperson eine Augendominanz (für rechts oder links) zugeordnet, anderenfalls keine Augendominanz. Dabei ergab sich eine Aufteilung in drei annähernd gleich starke Gruppen: für 12 Versuchspersonen eine Dominanz des linken Auges, für 11 Versuchspersonen eine Dominanz des rechten Auges, 8 Versuchspersonen wiesen keine Augendominanz auf (Abb. 5.2).

Vor Beginn des Experimentes war für jede Versuchsperson mit einem einfachen Verhaltenstests das bevorzugte Auge (vgl. Methoden - S. 39) sowie die Sehschärfe bestimmt worden. Beim Vergleich der funktionellen Augendominanz mit dem bevorzugten Auge zeigte sich kein eindeutiger Zusammenhang: Bei 14 Versuchspersonen war das dominante Auge identisch mit dem bevorzugten Auge, bei 9 war dieses nicht der Fall. Ebenso ergab sich kein Zusammenhang mit der Sehschärfe: Bei 7 Versuchspersonen entsprach das dominante Auge dem Auge mit besserem Visus, bei 8 Versuchspersonen dem Auge mit schlechterem Visus, 8 Versuchspersonen wiesen keine Unterschiede der Sehschärfe beider Augen auf.



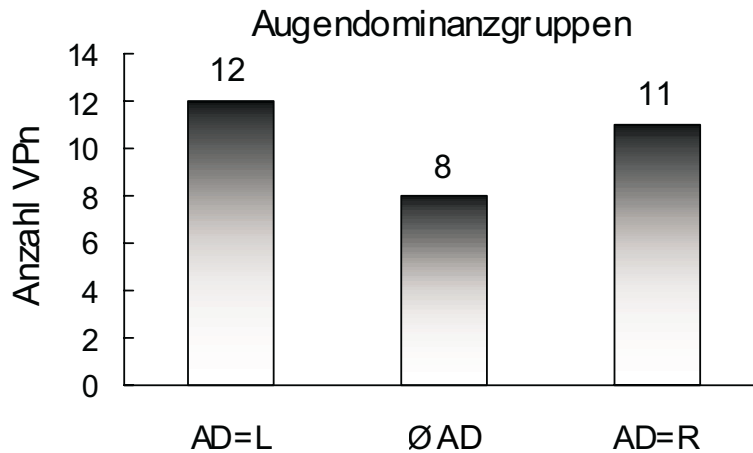


Abbildung 5.2: Anzahl der VPn mit Dominanz des linken Auges (AD=L), Dominanz des rechten Auges (AD=R), ohne Augendominanz (ØAD). Nach dem Antwortverhalten bei Wettstreitdarbietung erfolgte die Einteilung in diese drei Gruppen.

Bei der Untersuchung der funktionellen Augendominanz war außerdem von Interesse, inwieweit diese eine im Laufe des Experimentes erlernte Fähigkeit darstellte. Dazu wurde sie für jede Versuchsperson getrennt für die erste und zweite Hälfte der 14 experimentellen Durchgänge bestimmt. In dieser Auswertung über den Verlauf des Experiments hinweg zeigte sich, daß beim größten Teil der Versuchspersonen (26 Vpn = 84 %) die Einteilung in die drei Augendominanzgruppen in der ersten und zweiten Hälfte des Experimentes identisch war. Unterschiede fanden sich nur bei 5 Versuchspersonen. Die Augendominanz wurde deshalb als konstantes Merkmal einer Versuchsperson und nicht als im Verlauf des Experimentes erlernte Fähigkeit betrachtet. Wir bezogen die Augendominanz als Faktor in die Analyse der psychophysischen Daten ein. Darüber hinaus sollte untersucht werden, ob sich diese drei Versuchspersonengruppen in Parametern der hirnelektrischen Aktivität unterscheiden.

### 5.1.2 Diskriminationsleistung

Bei der Analyse der Antworten in den Kontrollbedingungen (schematische Darstellung der Reizanordnung auf S. 35) war von Interesse, inwieweit die Versuchspersonen bei der kurzen Darbietungszeit in der Lage waren, die Seite, auf der das Gesicht gezeigt wurde, korrekt anzugeben. Darüber hinaus sollte geklärt werden, ob hierbei Gesichtsfeldabhängige Unterschiede und Effekte des emotionalen Ausdrucks zu finden waren.

Dazu wurden die Raten der korrekten Antworten für die verschiedenen Bedingungen in einer ANOVA miteinander verglichen. In die Varianzanalyse gingen als Faktoren Gesichtsfeldort (links vs rechts), emotionaler Ausdruck (neutral vs negativ), Augen-

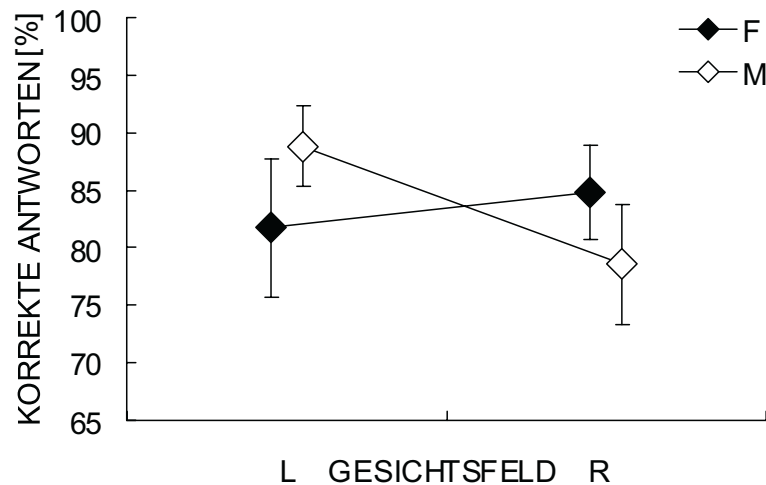


Abbildung 5.3: Diskriminationsleistung mit signifikanter Interaktion von Gesichtsfeldort und Geschlecht. Dargestellt ist die Rate korrekter Antworten (Mittelwerte der jeweiligen Gruppen und Standardfehler (SEM)) für Männern (M) und Frauen (F) bei Präsentation des Gesichts im linken (L) oder rechten (R) Gesichtsfeld.

dominanz und Geschlecht ein. Bei einer der Kontrollbedingungen (positives Gesicht im rechten Gesichtsfeld) wurde nachträglich ein Fehler bei der Reizdarbietung gefunden. Deshalb mußten die Kontrollbedingungen mit den positiven Gesichtern aus der Analyse ausgeschlossen werden.

In dieser Varianzanalyse wurde ein signifikanter Haupteffekt der Augendominanz ( $F(2, 25) = 3,38, p < 0,05$ ) bei der Diskriminationsleistung auffällig. Versuchspersonen ohne funktionelle Augendominanz wiesen eine deutlich niedrigere Rate korrekter Antworten (72%) auf als Versuchspersonen mit Augendominanz (87% korrekte Antworten bei Versuchspersonen mit Dominanz des linken, 88% korrekte Antworten bei Versuchspersonen mit Dominanz des rechten Auges). Eine signifikante Interaktion mit dem Gesichtsfeldort war hierbei nicht nachweisbar.

Darüber hinaus fand sich bei der Diskriminationleistung eine signifikante Interaktion von Gesichtsfeldort und Geschlecht  $F(1, 25) = 6,83, p < 0,015$ , die in Abb. 5.3 dargestellt ist. Dabei zeigten Männer eine höhere Rate korrekter Antworten bei Präsentation des Gesichts im linken als im rechten Gesichtsfeld. Die Mittelwerte der korrekten Antworten für Frauen unterschieden sich in den beiden Gesichtsfeldhälften kaum. Bei linksseitiger Lokalisation des Gesichts erzielten sie eine niedrigere, bei rechtsseitiger Darbietung eine höhere Rate korrekter Antworten als Männer. Ein Haupteffekt der Lokalisation im Gesichtsfeld fand sich nicht, außerdem auch keine Effekte des emotionalen Ausdrucks auf die Diskriminationleistung.

### 5.1.3 Reaktionszeiten

Analog zur Diskriminationsleistung wurden die mittleren Reaktionszeiten der Kontrollbedingungen in einer mehrfaktoriellen ANOVA verglichen. Wiederum gingen als Faktoren Gesichtsfeldort (links vs rechts), emotionaler Ausdruck (neutral vs negativ), Augendominanz und Geschlecht ein. Die Mittelwerte entsprachen dabei den Reaktionszeiten der korrekten Antworten jeder Versuchsperson pro Reizklasse.

Ähnlich wie bei der Diskriminationsleistung ergab die Varianzanalyse eine signifikante Wechselwirkung von Lokalisation und Geschlecht ( $F(1, 25) = 5,91, p < 0,02$ ), die in Abb. 5.4 gezeigt wird. Auch hier waren die gesichtsfeldabhängigen Unterschiede vor allem bei Männern ausgeprägt. Diese zeigten kürzere Reaktionszeiten bei Darbietung des Gesichts im linken als im rechten Gesichtsfeld. Frauen hingegen wiesen insgesamt etwas kürzere Reaktionszeiten auf, die sich für die verschiedenen Lokalisationen kaum unterschieden.

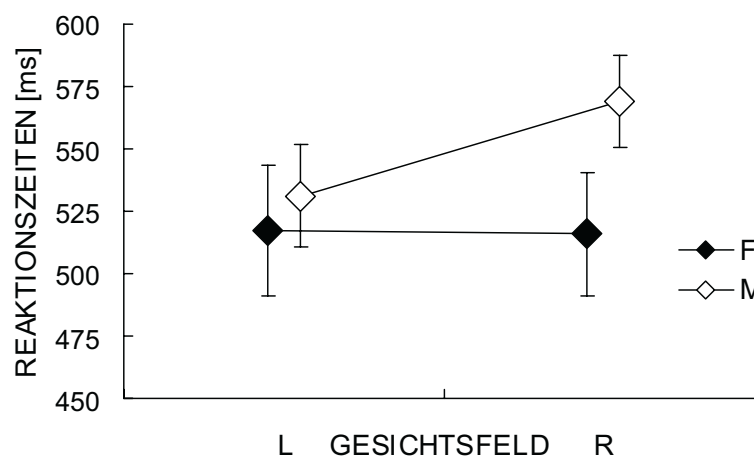


Abbildung 5.4: Reaktionszeiten mit signifikanter Interaktion von Gesichtsfeldort und Geschlecht. Dargestellt sind Mittelwerte der jeweiligen Gruppen und SEM für Männern (M) und Frauen (F) bei Präsentation des Gesichts im linken (L) oder rechten (R) Gesichtsfeld.

Ein Haupteffekt der Lokalisation im Gesichtsfeld, Einfluß des emotionalen Ausdrucks sowie der Augendominanz wurde bei den Reaktionszeiten nicht gefunden, außerdem auch keine weiteren signifikanten Interaktionen. Darüber hinaus unterschieden sich die Reaktionszeiten der Kontrollbedingungen nicht signifikant von den Reaktionszeiten der Wettstreitbedingungen.

## 5.2 Elektrophysiologie

Für jede Reizklasse und Versuchsperson wurde die evozierte Hirnaktivität über einen Zeitraum von 800 ms ab dem Erscheinen der Reize in Form topographischer Karten dargestellt. Diese Karten zeigten in allen experimentellen Bedingungen drei ähnlich ausgeprägte Komponenten innerhalb der ersten 400 ms. Als Beispiel sind in Abb. 5.5 die über alle sechs Wettstreitbedingungen und Versuchspersonen gemittelten Daten aufgeführt.

In der dargestellten Kartenserie sind Komponenten um 80 ms, um 160 ms und um 320 ms zu erkennen. Die erste Komponente mit maximaler Feldstärke um 80 ms zeigt beidseitig posterolateral positive Gipfel, die annähernd symmetrisch ausgeprägt sind, sowie eine dazwischengelegene Negativität mit einem Minimum über den hinteren Elektrodenreihen. Die zweite Komponente mit maximaler Feldstärke um 160 ms weist beidseits posterolateral stark ausgeprägte Negativitäten sowie eine Positivität über frontozentralen Elektroden auf. Von allen untersuchten Komponenten zeigt diese im Mittel die höchste Feldstärke. Die dritte Komponente um 310 ms besitzt weniger steile Potentialgradienten mit anterior medial gelegener Negativität und posterior lokalisierter Positivität.

Zur quantitativen Erfassung dieser in ihrer Latenz und Stärke der Ausprägung individuelle Unterschiede zwischen den Versuchspersonen zeigenden Komponenten wurden jeweils die zugehörigen GFP-Kurven berechnet (vgl. Methodische Grundlagen - S. 18). In diesen wurden zunächst Zeitbereiche ermittelt, in denen alle Versuchspersonen GFP-Maxima aufwiesen. Dadurch konnten die folgenden für die Auswertung bedeutsamen Zeitfenster definiert werden:

- Zeitfenster 1 : 50-100 ms
- Zeitfenster 2 : 130-200 ms
- Zeitfenster 3 : 280-350 ms

Abb. 5.5 zeigt unter den topographischen Karten die zugehörige GFP-Kurve. In dieser sind die für die Bestimmung der individuellen Komponenten bedeutsamen Zeitbereiche schraffiert unterlegt. Die Erfassung der Komponenten für alle Versuchspersonen und Reizklassen erfolgte in Form des größten lokalen GFP-Maximum innerhalb dieser Zeitfenster. Die so bestimmten Komponenten sind charakterisiert durch ihre GFP-Amplitude, Latenz sowie ihre Topographie in Form der Lokalisation der positiven und negativen Zentroide. Diese Merkmale bildeten den Ausgangspunkt für die statistische Analyse.

Im Mittelpunkt der folgenden Darstellung der Ergebnisse soll stehen, inwieweit sich Wettstreit- und Kontrollbedingungen in ihrem Einfluß auf die evozierte Hirnaktivität unterschieden und welchen Effekt emotionaler Ausdruck und Gesichtsfeldort bei

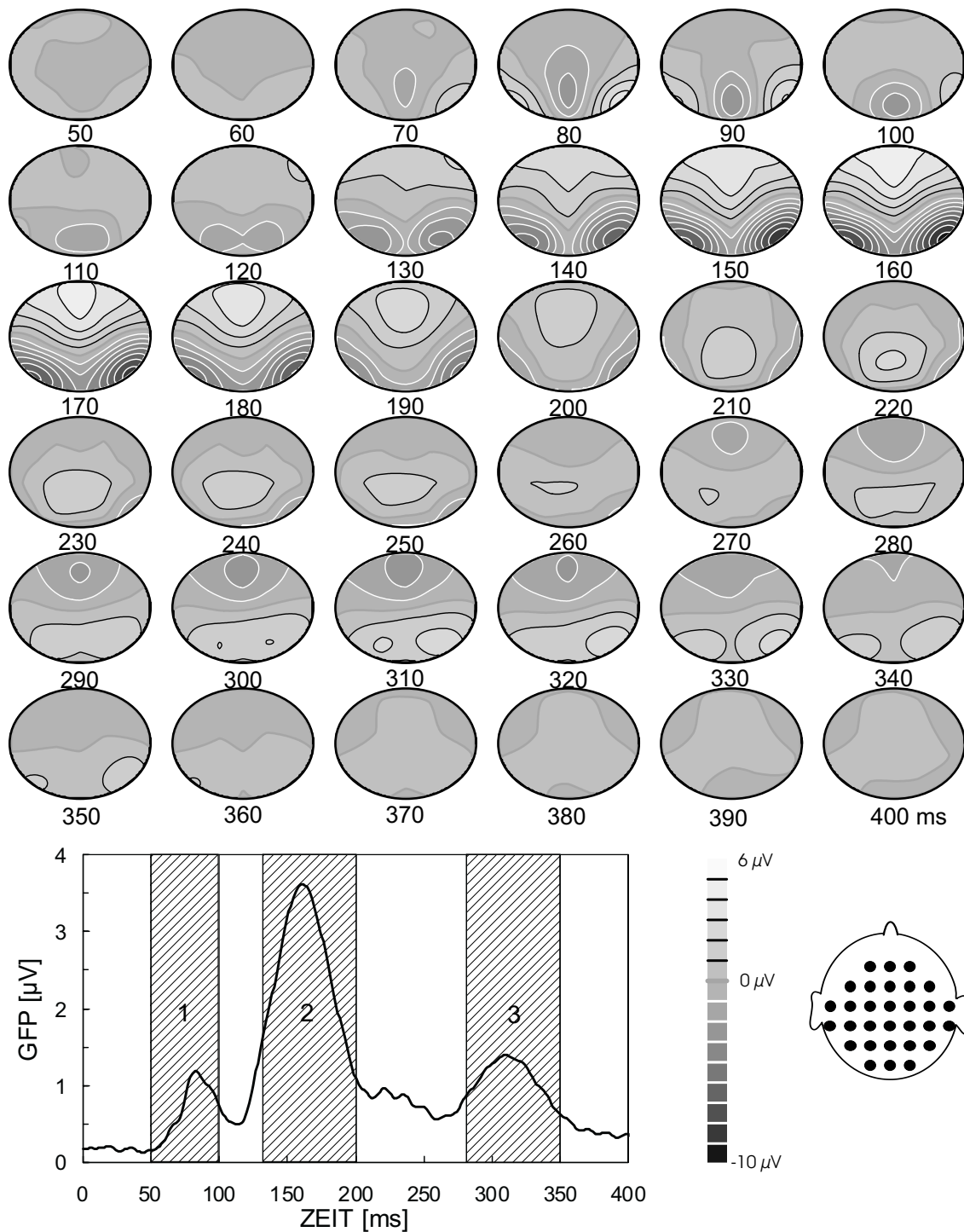


Abbildung 5.5: Topographische Karten und GFP: gemittelte Daten über alle Wettstreitbedingungen und 31 VPn. Helle Grautöne mit schwarzen Linien entsprechen positiven, dunkle Grautöne mit weißen Linien negativen Potentialen, Isopotentiallinienabstände  $1 \mu\text{V}$ . Unter den Karten sind die Latenzen nach Darbietung der Reize in ms angegeben. Komponenten finden sich um 80 ms, um 160 ms sowie um 320 ms. In der GFP-Kurve sind die für die Erfassung der Komponenten bedeutsamen drei Zeitfenster schraffiert unterlegt.

Wettstreitdarbietung hatten. Da psychophysische Parameter in den Kontrollbedingungen gesichtsfeld- und geschlechtsabhängige Unterschiede ergaben, wird außerdem dargestellt, inwieweit sich diese Bedingungen in ihrer Auswirkung auf die hirnelektrische Aktivität unterschieden. Analog zur Auswertung der psychophysischen Daten wurden in alle Analysen zusätzlich als Zwischensubjekt-Faktoren Augendominanz und Geschlecht einbezogen. Die in den elektrophysiologischen Daten gefundenen geschlechtsspezifischen Effekte sollen nicht im laufenden Text, sondern in einem gesonderten Abschnitt am Ende des Ergebnisteiles vorgestellt werden.

### 5.2.1 Einfluß des Gesichtsfeldortes (rechts versus links)

In den Kontrollbedingungen (schematische Darstellung der Reizanordnung auf S. 35) wurde das Gesicht für beide Augen im gleichen visuellen Halbfeld (links oder rechts) dargeboten. Im jeweils gegenüberliegenden Gesichtsfeld befand sich das "scrambled face". Es soll nun untersucht werden, inwiefern hierbei der unterschiedliche

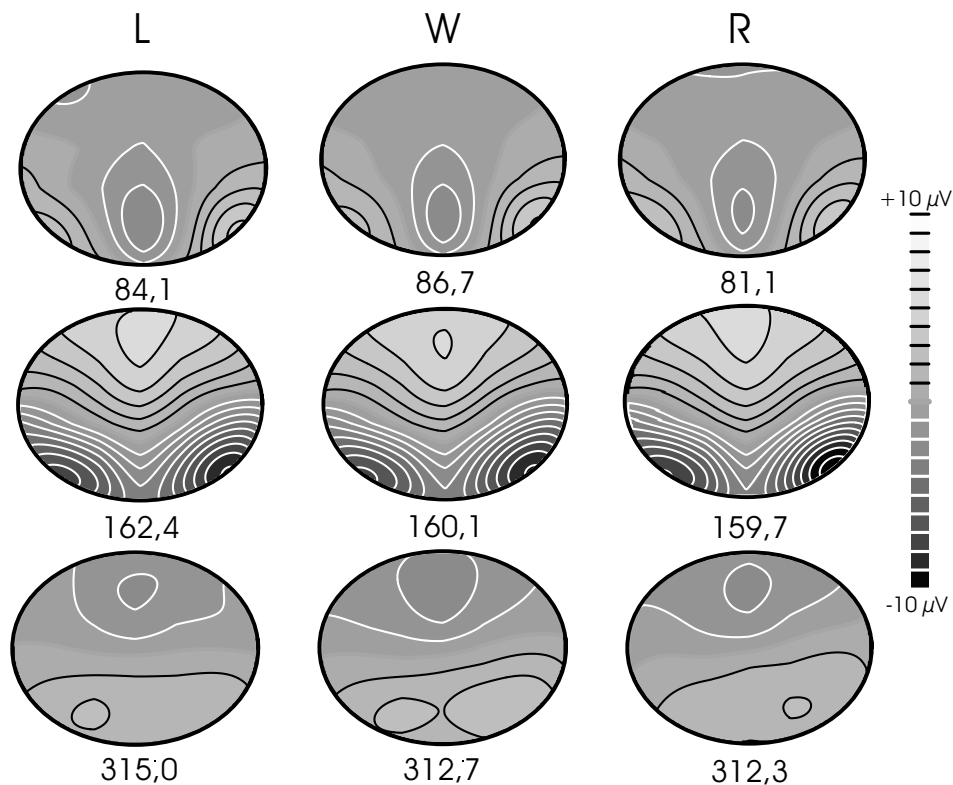


Abbildung 5.6: Die drei Komponenten für Wettstreit (W), linksseitige (L) und rechtsseitige (R) Lokalisation des Gesichts, gemittelte Daten über 31 Versuchspersonen. Helle Grautöne mit schwarzen Linien entsprechen positiven, dunkle Grautöne mit weißen Linien negativen Potentialen. Isopotentiallinienabstände  $1 \mu V$ , unter den Karten gemittelte Latenzen in ms.

Gesichtsfeldort Merkmale des VEP beeinflusste. Sowohl Reizdarbietungen mit korrekter als auch inkorrektter Antwort der VPn gingen dabei in die Mittelung der VEP ein. Abb. 5.6 zeigt die drei Komponenten (gemittelte Daten über alle Versuchspersonen und emotionalen Ausdrücke) für die Kontrollbedingungen sowie für Wettstreitpräsentation. Diese lassen nur geringe Unterschiede erkennen. Beim Vergleich zwischen linkem Gesichtsfeld (L) und rechtem Gesichtsfeld (R) ist vor allem eine etwas verschiedene Topographie der dritten Komponente auffällig.

Die statistische Analyse erfolgte mit mehreren ANOVAs für die abhängigen Variablen Latenz, GFP-Amplitude, x- und y-Koordinaten der positiven und negativen Zentroide dieser Komponenten. Der Gesichtsfeldort (rechts versus links), Augendominanz und Geschlecht der Versuchspersonen gingen als Faktoren in alle Varianzanalysen ein.

Bei der Latenz der zweiten Komponente wurde eine signifikante Wechselwirkung von Gesichtsfeldort und Augendominanz ( $F(2, 25) = 3,69, p < 0,04$ ) auffällig, die in Abb. 5.7 dargestellt ist. Versuchspersonen mit bzw. ohne Augendominanz verhielten sich hier je nach Versuchsbedingung unterschiedlich: Während Probanden ohne Augendominanz bei linksseitiger Lokalisation des Gesichts kürzere Latenzen aufwiesen als bei rechtsseitiger, war bei Versuchspersonen mit Augendominanz ein entgegengesetztes Muster ausgeprägt.

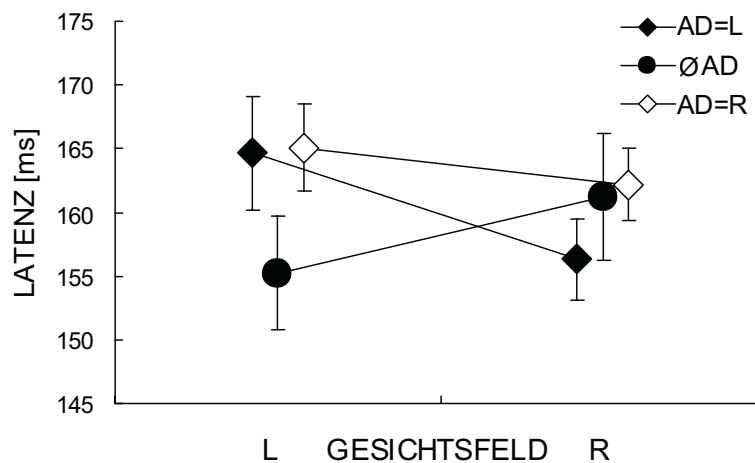


Abbildung 5.7: Latenz der zweiten Komponente mit signifikanter Wechselwirkung von Gesichtsfeldort und Augendominanz, Mittelwerte über 31 Versuchspersonen und SEM. Versuchspersonen ohne Augendominanz (ØAD) zeigten kürzere Latenzen bei linksseitiger (L) als bei rechtsseitiger (R) Lokalisation des Gesichts, Versuchspersonen mit Augendominanz (AD=L, AD=R) wiesen ein entgegengesetztes Muster auf.

Topographische Unterschiede wurden bei der dritten Komponente in rechts-links-Richtung gefunden. Bei rechtsseitiger Präsentation des Gesichts befand sich der

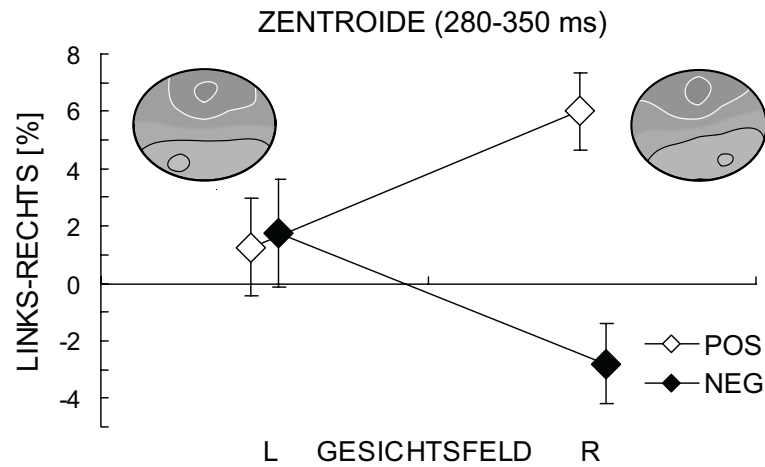


Abbildung 5.8: Einfluß des Gesichtsfeldortes auf die Zentroidlokalisierung der dritten Komponente, Mittelwerte über 31 Versuchspersonen und SEM, Skalierung der y-Achse in % der Nasion-Inion-Distanz, 0 entspricht der Mittellinie. Bei rechtsseitiger (R) Darbietung des Gesichts befand sich der positive Zentroid (POS) weiter rechts sowie der negative Zentroid (NEG) weiter links als bei linksseitiger (L) Darbietung. Zusätzlich sind die den Bedingungen entsprechenden Karten (gemittelte Daten über alle VPn) abgebildet.

positive Zentroid weiter rechts ( $F(1, 25) = 5,67, p < 0,025$ ) sowie der negative Zentroid weiter links ( $F(1, 25) = 7,25, p < 0,012$ ) als bei linksseitiger Präsentation. Bei Darbietung im linken Gesichtsfeld waren der positive und negative Schwerpunkt leicht über die Mittellinie nach rechts verlagert (Abb. 5.8).

Für die GFP und Topographie der ersten beiden Komponenten sowie die Latenz der ersten und dritten Komponente ergaben sich keine signifikanten Effekte.

### 5.2.2 Einfluß der Darbietungsart (binokularer Wettstreit versus Kontrolle)

Zur Untersuchung des Einflusses der Darbietung im binokularen Wettstreit auf die durch Gesichter evozierte Hirnaktivität wurden die über die Emotionen gemittelten VEPs für Wettstreit und Lokalisation im linken bzw. rechten Gesichtsfeld miteinander verglichen. Bei der Gegenüberstellung der über alle Versuchspersonen gemittelten Daten der drei Komponenten (Abb. 5.6) zeigen vor allem bei der zweiten Komponente die Kontrollbedingungen geringfügig höhere Amplituden (dichtere Feldlinien) als die Wettstreitbedingung.

Die statistische Auswertung erfolgte wiederum mit mehreren ANOVAs für die abhängigen Variablen Latenz, GFP-Amplitude und Zentroidlokalisierung der Komponenten, in die als Faktoren Darbietungsart (linkes Gesichtsfeld vs rechtes Gesichtsfeld vs Wettstreit), Augendominanz und Geschlecht eingingen.



Bei der GFP aller drei Komponenten zeigte sich ein Haupteffekt der Darbietungsart (Komponente 1 :  $F(2, 50) = 4,38$ ,  $p < 0,018$ , Komponente 2 :  $F(2, 50) = 4,11$ ,  $p < 0,022$ , Komponente 3 :  $F(2, 50) = 4,92$ ,  $p < 0,011$ ). Abb. 5.9 stellt diese Effekte zusammenfassend dar. In allen Fällen war die Feldstärke der durch Wettstreitdarbietung evozierten Aktivität am geringsten.

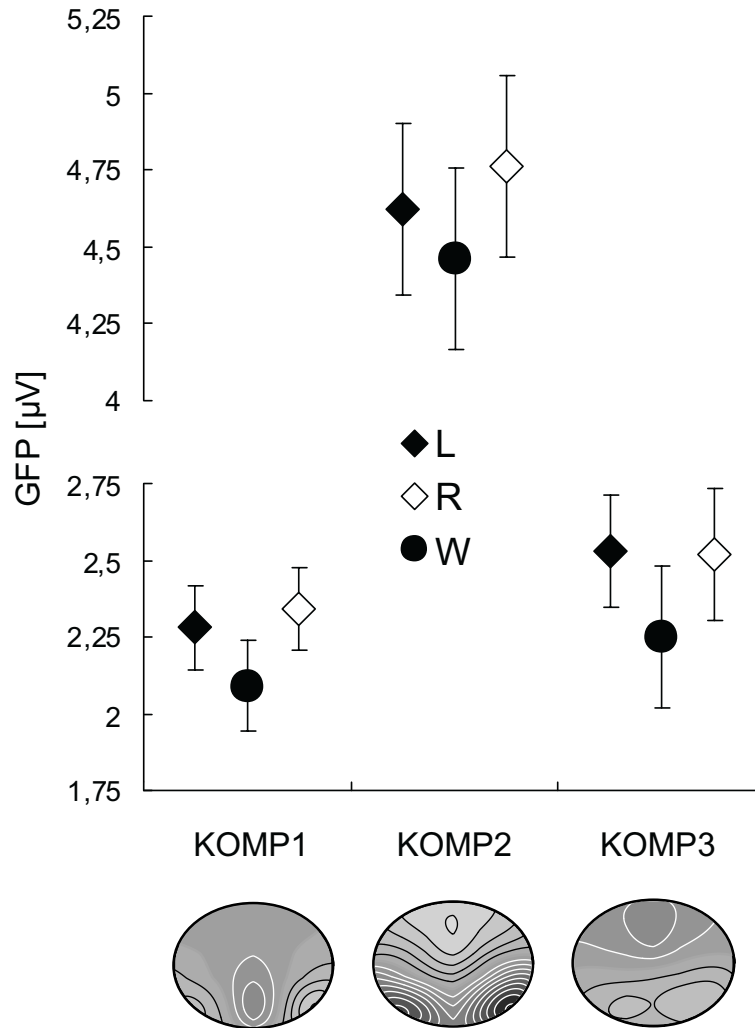


Abbildung 5.9: GFP der drei Komponenten mit signifikantem Haupteffekt der Darbietungsart, Mittelwerte über 31 Versuchspersonen und SEM. Die Karten zeigen die Komponenten der Wettstreitbedingung. Bei Wettstreit (W) war die GFP der ersten (KOMP 1), zweiten (KOMP 2) und dritten (KOMP 3) Komponente gegenüber den Kontrollen (R, L) vermindert.

Ein Haupteffekt der Darbietungsart ( $F(2, 50) = 6,19, p < 0,004$ ) war darüber hinaus bei der Latenz der ersten Komponente nachweisbar, wobei Wettstreitpräsentation die längsten Latenzen (87 ms gegenüber 84 ms bzw. 81 ms für die Kontrollbedingungen) zur Folge hatte. Auf die Latenzen der zweiten und dritten Komponente hatte die Darbietungsart keinen signifikanten Einfluß.

Bei der Latenz der dritten Komponente wurde ein Haupteffekt der Augendominanz ( $F(2, 25) = 4,04, p < 0,03$ ) auffällig. Versuchspersonen, die keine funktionelle Augendominanz zeigten, wiesen längere Latenzen (327 ms) dieser Komponente auf als Versuchspersonen mit linker (309 ms) und rechter (308 ms) Augendominanz.

Bei keiner der drei Komponenten hatte die Darbietungsart einen signifikanten Einfluß auf die Topographie.

### 5.2.3 Einfluß von emotionalem Ausdruck und Gesichtsfeldort (nasal versus temporal)

In den Wettstreitbedingungen (schematische Darstellung der Reizanordnung auf S. 36) wurden ihrer emotionalen Ausprägung nach positive, negative oder neutrale Gesichter im nasalen oder temporalen Gesichtsfeld präsentiert. Hierbei soll nun der Einfluß des emotionalen Ausdrucks und des Gesichtsfeldortes auf die Parameter der evozierten Hirnaktivität untersucht werden.

Abb. 5.10 stellt zusammenfassend die drei Komponenten (über alle Versuchspersonen gemittelte Daten) für die verschiedenen Emotionen und Anordnungsarten dar. Wie in den vorangegangenen Vergleichen finden sich weitgehend ähnlich ausgeprägte Komponenten für die verschiedenen Bedingungen. Bei der zweiten und dritten Komponente sind in den Karten für negative Gesichter etwas höhere Amplituden zu erkennen.

Zur statistischen Auswertung kamen wiederum ANOVAs für die abhängigen Variablen Latenz, GFP-Amplitude und Lokalisation der positiven und negativen Zentroide in x- und y-Richtung zur Anwendung. In diese gingen als Faktoren Gesichtsfeldort (nasal versus temporal), emotionaler Ausdruck (negativ versus neutral versus positiv), Augendominanz und Geschlecht ein.

Für die erste Komponente ergaben sich in der Varianzanalyse geringfügig, jedoch statistisch signifikant längere Latenzen bei Lokalisation des Gesichts im nasalen (86,4 ms) als im temporalen (85,2 ms) Gesichtsfeld ( $F(1, 25) = 10,32, p < 0,004$ ).

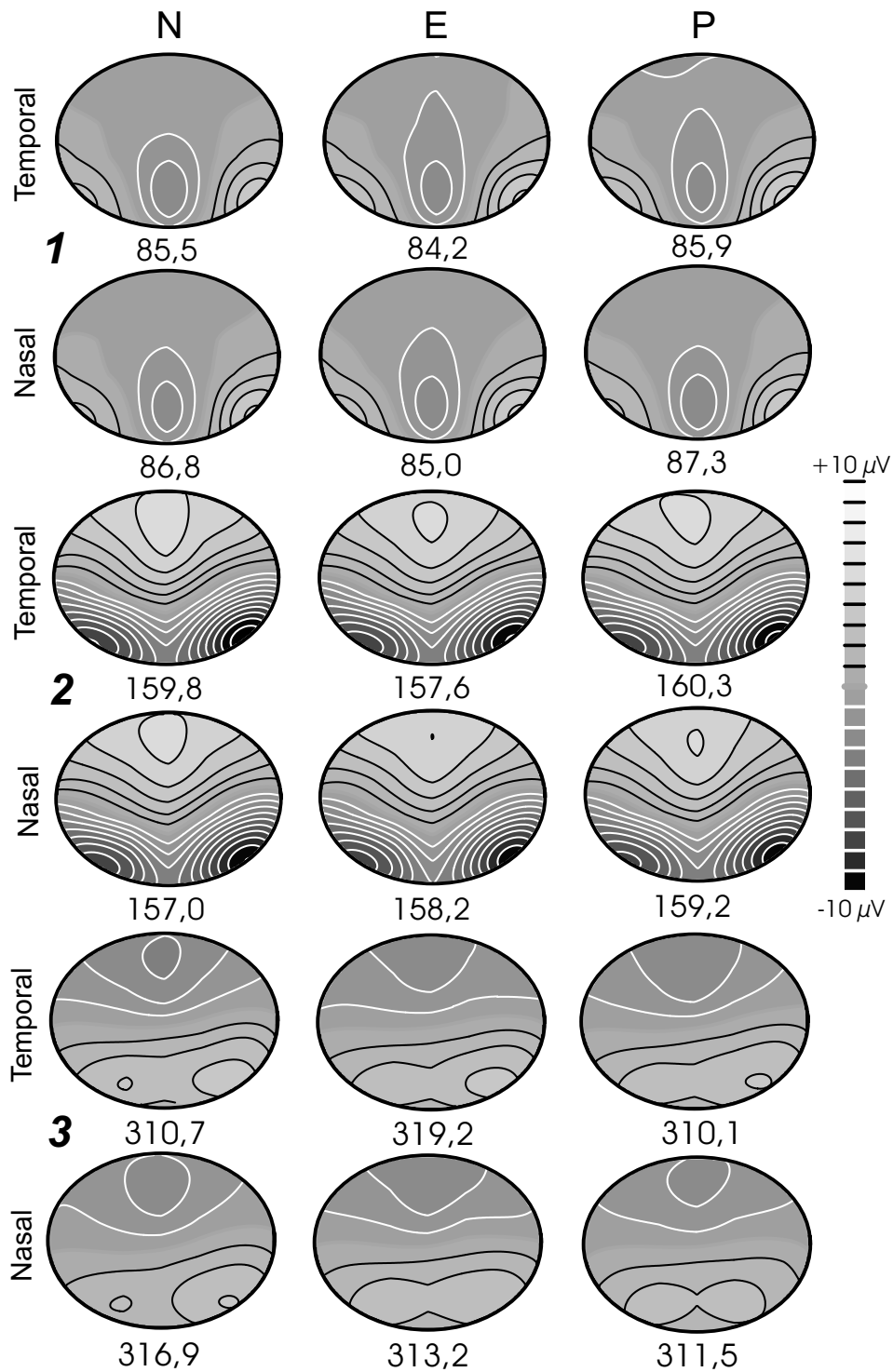


Abbildung 5.10: Erste (1), zweite (2) und dritte (3) Komponente für negative (N), neutrale (E) und positive (P) Gesichter bei Präsentation im nasalen bzw. temporalen Gesichtsfeld, gemittelte Daten über 31 Versuchspersonen. Helle Grautöne mit schwarzen Linien entsprechen positiven, dunkle Grautöne mit weißen Linien negativen Potentialen. Isopotentiallinienabstände 1  $\mu V$ , unter den Karten gemittelte Latenzen in ms.

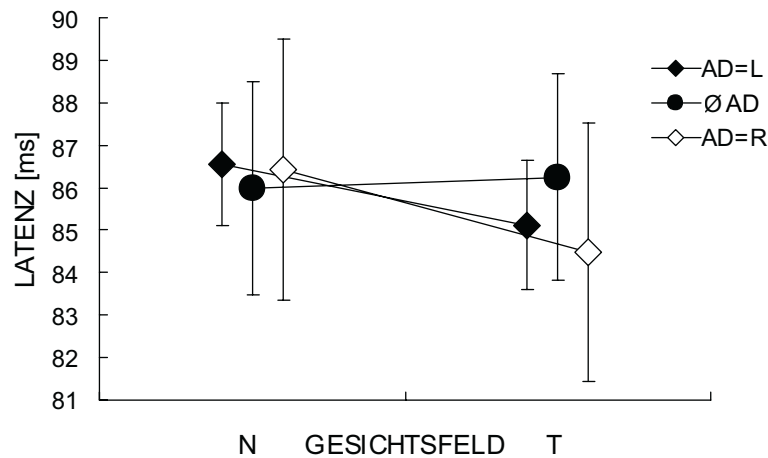


Abbildung 5.11: Latenz der ersten Komponente mit signifikanter Wechselwirkung von Gesichtsfeldort und Augendominanz, Mittelwerte über 31 Versuchspersonen und SEM. Versuchspersonen mit linker ( $AD=L$ ) und rechter ( $AD=R$ ) Augendominanz zeigten längere Latenzen bei Darbietung des Gesichts im nasalen (N) als im temporalen (T) Gesichtsfeld, Versuchspersonen ohne Augendominanz ( $\emptyset AD$ ) eine leicht gegenläufige Tendenz.

Der Haupteffekt der Gesichtsfeldlokalisation wird jedoch relativiert durch eine signifikante Interaktion von Gesichtsfeldort und Augendominanz bei der Latenz der ersten Komponente ( $F(2, 25) = 4,61, p < 0,02$ , Abb. 5.11). Es zeigt sich hier, daß längere Latenzen bei Präsentation im nasalen Gesichtsfeld vor allem bei Versuchspersonen, die eine Augendominanz aufwiesen, gefunden wurden. Versuchspersonen ohne Augendominanz hatten dagegen annähernd vergleichbare Latenzen der ersten Komponente bei nasaler und temporaler Darbietung des Gesichts.

Signifikante Haupteffekte des emotionalen Ausdrucks zeigten sich bei der GFP sowohl der zweiten als auch der dritten Komponente (Komponente 2 :  $F(2, 50) = 4,23, p < 0,02$ , Komponente 3 :  $F(2, 50) = 4,73, p < 0,013$ ). In Abb. 5.12 werden diese zusammenfassend gezeigt. Bei beiden Komponenten wurden jeweils die stärksten Potentialfelder durch die Darbietung negativer Gesichter hervorgerufen. Ein entsprechender Einfluß auf die GFP der ersten Komponente war nicht vorhanden.

Topographische Unterschiede bedingt durch den emotionalen Ausdruck wurden schon in dem frühen Zeitbereich der ersten Komponente (mittlere Latenz 86 ms) auffällig. Beim positiven Zentroid zeigte sich hier in links-rechts-Richtung eine signifikante Wechselwirkung von emotionalem Ausdruck und Gesichtsfeldort ( $F(2, 50) = 4,03, p < 0,024$ , Abb. 5.13).

Bei Präsentation im nasalen Gesichtsfeld lag der positive Zentroid für negative Gesichter weiter rechts, bei Präsentation im temporalen Gesichtsfeld weiter links. Die Zentroide für Gesichter positiven und neutralen emotionalen Ausdrucks zeigten ein spiegelbildliches Verhalten und waren damit bei nasaler Präsentation links, bei tem-

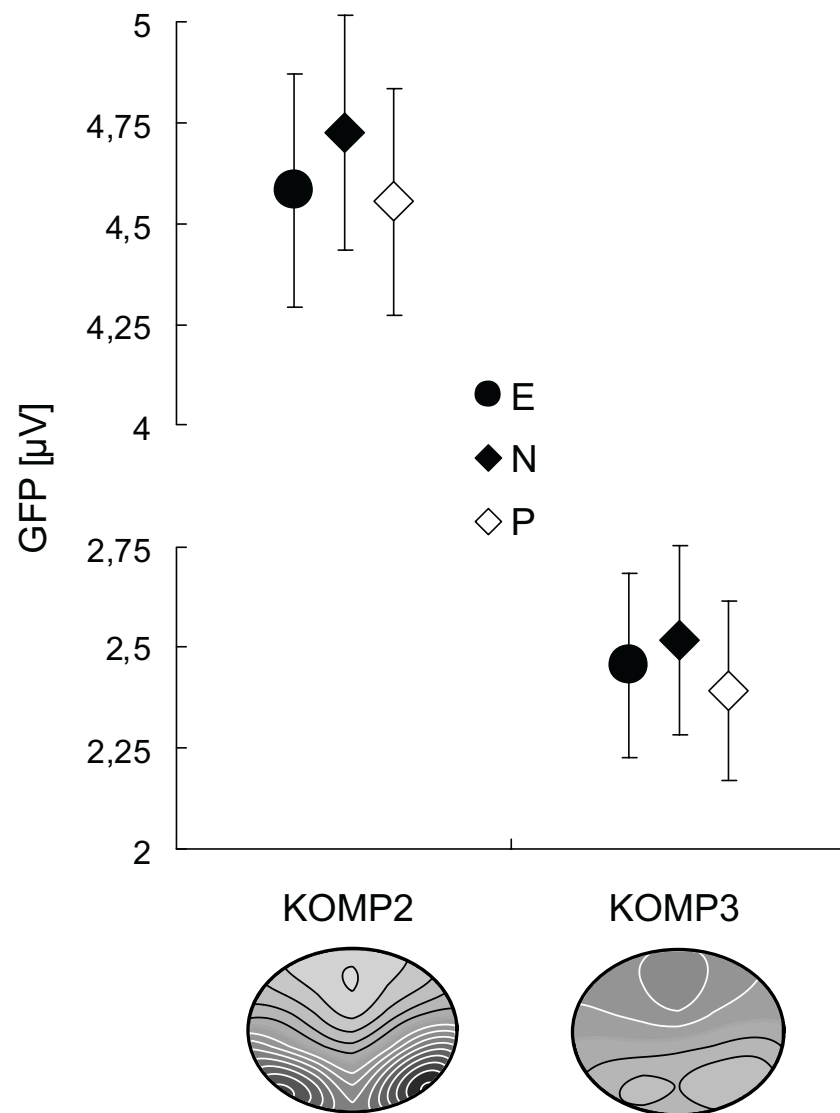


Abbildung 5.12: GFP der zweiten und dritten Komponente mit signifikantem Haupteffekt des emotionalen Ausdrucks, Mittelwerte über 31 Versuchspersonen und SEM. Die Karten entsprechen den über die Bedingungen gemittelten Daten. Bei der zweiten (KOMP 2) und dritten (KOMP 3) Komponente fand sich für negative (N) eine gegenüber positiven (P) und neutralen (E) Gesichtern erhöhte GFP.

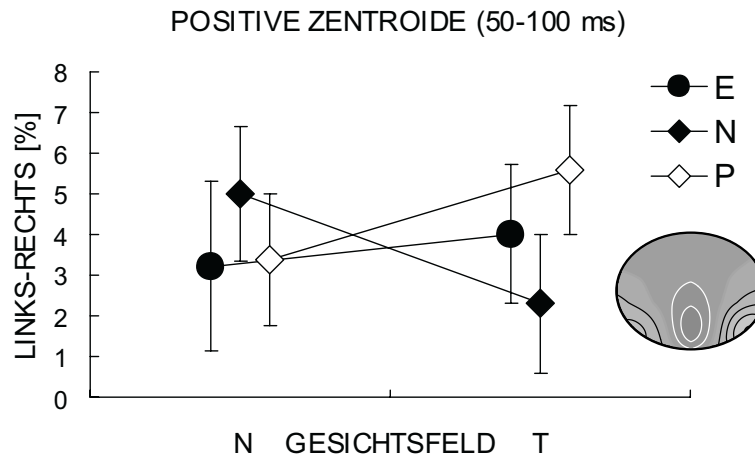


Abbildung 5.13: Positive Zentroide der ersten Komponente mit signifikanter Wechselwirkung von Gesichtsfeldort und emotionalem Ausdruck, Mittelwerte über 31 Versuchspersonen und SEM. Skalierung der y-Achse in % der Nasion-Inion-Distanz, 0 entspricht der Mittellinie. Die Karte zeigt die über die Bedingungen gemittelten Daten. Für negative Gesichter (N) befand sich der Zentroid bei nasaler (N auf x-Achse) Präsentation weiter rechts, bei temporaler (T) Präsentation weiter links als für neutrale (E) und positive (P) Gesichter.

poraler Präsentation rechts von den Zentroiden für negative Gesichter gelegen. Insgesamt befanden sich die positiven Zentroide bei allen Bedingungen etwas rechts von der Mittellinie.

Der negative Zentroid wurde in anterior-posterior-Richtung durch eine Wechselwirkung von emotionalem Ausdruck und Augendominanz ( $F(4, 50) = 2,89$ ,  $p < 0,032$ ) beeinflusst, siehe Abb. 5.14. Hierbei zeigten die Mittelwerte für Versuchspersonen ohne Augendominanz bei negativen gegenüber positiven und neutralen Gesichtern eine Verlagerung des Zentroids nach posterior, die bei augendominanten Versuchspersonen nicht erkennbar war.

Bei der zweiten Komponente war weder ein signifikanter Einfluß von Gesichtsfeldort und emotionalem Ausdruck auf die Topographie noch auf die Latenz zu erkennen.

Bei der dritten Komponente hingegen ergaben sich wieder topographische Effekte. Der negative Zentroid wurde in rechts-links-Richtung ( $F(2, 50) = 4,56$ ,  $p < 0,015$ ), der positive in anterior-posterior-Richtung ( $F(2, 50) = 3,98$ ,  $p < 0,025$ ) durch die Wechselwirkung von emotionalem Ausdruck und Gesichtsfeldort beeinflusst.

Ähnlich wie bei der ersten Komponente scheinen beide Effekte hauptsächlich durch das abweichende Verhalten der Zentroide für negative Gesichter bedingt zu sein. Im nasalen gegenüber dem temporalen Gesichtsfeld zeigte dieses jeweils eine entgegengesetzte Richtung der Ausprägung. In links-rechts-Richtung war der negative

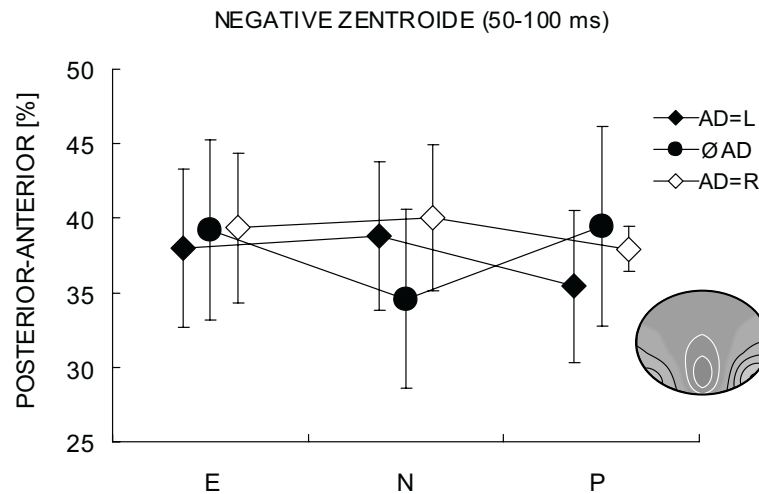


Abbildung 5.14: Negative Zentroide der ersten Komponente mit signifikanter Wechselwirkung von Augendominanz und emotionalem Ausdruck, Mittelwerte über 31 Versuchspersonen und SEM. Skalierung der y-Achse in % der Nasion-Inion-Distanz, 0 entspricht dem Inion. Die Karte zeigt die über die Bedingungen gemittelten Daten. Versuchspersonen ohne Augendominanz (ØAD) zeigten für negative (N) gegenüber positiven (P) und neutralen (E) Gesichtern eine Verlagerung des negativen Zentroids nach posterior.

Zentroid der dritten Komponente für negative gegenüber positiven und neutralen Gesichtern bei Darbietung im nasalen Gesichtsfeld nach links, bei Darbietung im temporalen Gesichtsfeld hingegen nach rechts verlagert. Insgesamt befand sich der Zentroid links der Mittellinie, wie in Abb. 5.15 zu sehen ist. In anterior-posterior-Richtung lag der positive Zentroid für negative Gesichter bei nasaler Präsentation weiter vorn, im Gegensatz dazu bei temporaler Präsentation weiter hinten als für neutrale und positive Gesichter (Abb. 5.16).

Einflüsse der Lokalisation des Gesichts (nasales versus temporales Gesichtsfeld) auf die Topographie der dritten Komponente waren darüber hinaus als Haupteffekte nachweisbar. Bei Präsentation im temporalen Gesichtsfeld befand sich der positive Zentroid weiter rechts ( $F(1, 25) = 5,74, p < 0,024$ ) sowie der negative Zentroid weiter anterior ( $F(1, 25) = 4,57, p < 0,042$ ) als bei Präsentation im nasalen Gesichtsfeld.

Eine signifikante Wechselwirkung von Gesichtsfeldort und emotionalem Ausdruck ( $F(2, 50) = 4,01, p < 0,024$ ) ergab sich auch bei der Latenz der dritten Komponente (Abb. 5.17). Bei Lokalisation im temporalen Gesichtsfeld zeigten sich hier stärker ausgeprägte Unterschiede mit im Mittel 10 ms kürzeren Latenzen für negative und positive gegenüber neutralen Gesichtern. Dagegen waren bei Präsentation im nasalen Gesichtsfeld die Latenzen für die drei emotionalen Ausdrücke etwa vergleichbar.

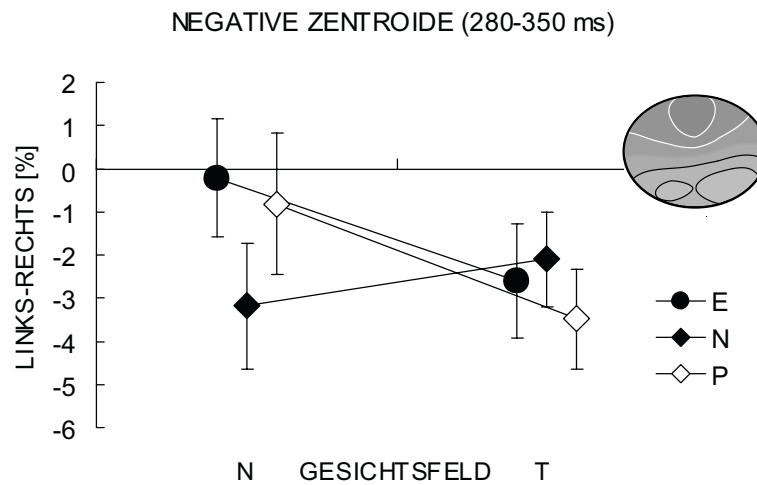


Abbildung 5.15: Negative Zentroide der dritten Komponente mit signifikanter Wechselwirkung von Gesichtsfeldort und emotionalem Ausdruck, Mittelwerte über 31 Versuchspersonen und SEM. Skalierung der y-Achse in % der Nasion-Inion-Distanz, 0 entspricht der Mittellinie. Die Karte zeigt die über die Bedingungen gemittelten Daten. Für negative Gesichter (N) befand sich der negative Zentroid bei nasaler Präsentation (N auf x-Achse) weiter links, bei temporaler Präsentation (T) näher an der Mittellinie als für positive (P) und neutrale (E) Gesichter.

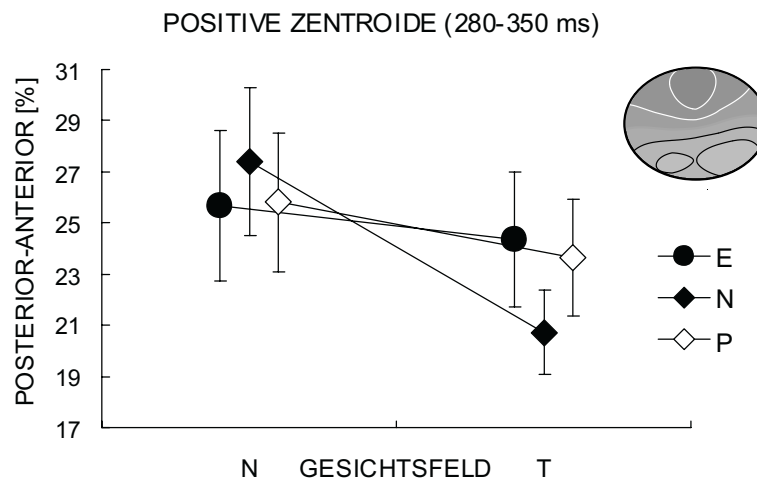


Abbildung 5.16: Positive Zentroide der dritten Komponente mit signifikanter Wechselwirkung von Gesichtsfeldort und emotionalem Ausdruck, Mittelwerte über 31 Versuchspersonen und SEM. Skalierung der y-Achse in % der Nasion-Inion-Distanz, 0 entspricht dem Inion. Die Karte zeigt die über die Bedingungen gemittelten Daten. Für negative Gesichter (N) befand sich der positive Zentroid bei nasaler Präsentation weiter anterior, bei temporaler Präsentation weiter posterior als für positive (P) und neutrale (E) Gesichter.



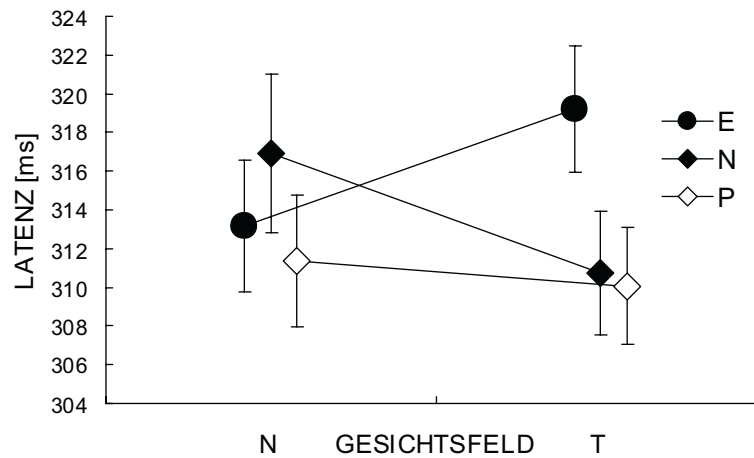


Abbildung 5.17: Latenz der dritten Komponente mit signifikanter Wechselwirkung von Gesichtsfeldort und emotionalem Ausdruck, Mittelwerte über 31 Versuchspersonen und SEM. Vor allem die Latenzen für neutrale (E) und negative (N) Gesichter verhalten sich bei Darbietung im temporalen (T) und nasalen (N auf x-Achse) Gesichtsfeld entgegengesetzt.

#### 5.2.4 Geschlechtsspezifische Effekte

An dem in dieser Arbeit vorgestellten Experiment nahmen 12 weibliche und 19 männliche Versuchspersonen teil. Das Geschlecht ging als Zwischensubjektfaktor in die statistische Auswertung ein. Die Wahrnehmungsleistung und die Reaktionszeiten der Probanden zeigten je nach Geschlecht verschieden stark ausgeprägte gesichtsfeldabhängige Unterschiede. Auf diese wurde bereits im entsprechenden Abschnitt Psychophysik (S. 46) eingegangen. Hier sollen die in den elektrophysiologischen Daten nachweisbaren geschlechtsspezifischen Effekte zusammengefaßt werden.

In allen durchgeführten Varianzanalysen zeigte sich ein Haupteffekt des Geschlechts bei der GFP der dritten Komponente. Frauen wiesen hier eine gegenüber Männern im Mittel um ca. 50% erhöhte GFP auf. Die jeweiligen Werte für die GFP, F-Werte und Signifikanzniveaus sind aus Tabelle 5.1 ersichtlich. Ein signifikanter Einfluß des Geschlechts auf die GFP der anderen beiden Komponenten fehlte.

Tabelle 5.1: GFP der dritten Komponente mit signifikantem Haupteffekt des Geschlechts. Die Tabelle gibt die GFP-Werte für Frauen (F) und Männer (M) in  $\mu V$  sowie F-Werte und Signifikanzniveaus in den verschiedenen Varianzanalysen an.

	GFP(M)	GFP(F)	F(1,25)	p
Rechts vs Links	2,07	3,23	11,3	0,002
Wettstreit vs Kontrolle	1,99	3,13	10,0	0,004
Emotion x Lokalisation	2,08	3,12	7,4	0,012

Signifikante topographische Effekte des Geschlechts waren bei Wettstreitdarbietung für die dritte Komponente in links-rechts-Richtung nachweisbar. Die Zentroidlokalisation der dritten Komponente ist in Abb. 5.18 dargestellt. Der negative Zentroid befand sich hier für Frauen in etwa über der Mittellinie, für Männer weiter links ( $F(1, 25) = 4,32, p < 0,048$ ). Für den positiven Zentroid zeigte sich eine entgegengesetzte, jedoch nicht signifikante Tendenz ( $F(1, 25) = 2,94, p < 0,099$ ). Die Topographie der ersten und zweiten Komponente ließ keinen signifikanten Einfluß des Geschlechts erkennen.

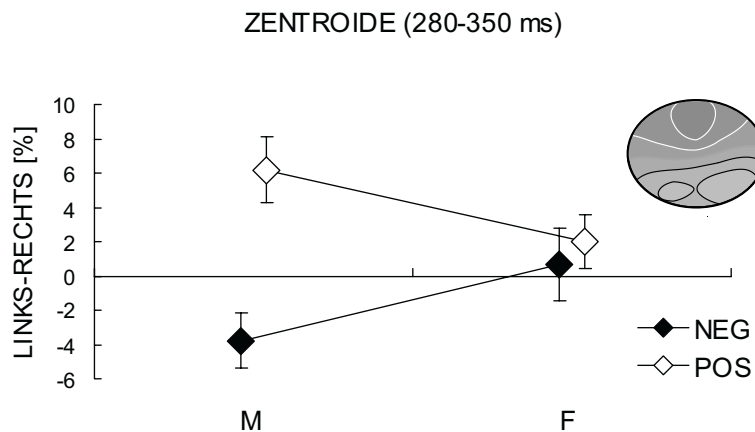


Abbildung 5.18: *Einfluß des Geschlechts auf die Zentroidlokalisation der dritten Komponente, Mittelwerte über 31 Versuchspersonen und SEM. Skalierung der y-Achse in % der Nasion-Inion-Distanz, 0 entspricht der Mittellinie. Die Karte zeigt die über beide Gruppen gemittelten Daten. Für Frauen (F) lag der negative Zentroid (NEG) etwa bei der Mittellinie, für Männer (M) weiter links. Bei dem positiven Zentroid fand sich eine entgegengesetzte Tendenz, die nicht signifikant war.*

Die Latenz der dritten Komponente wurde bei Wettstreitdarbietung signifikant durch eine Wechselwirkung von Gesichtsfeldort (nasal versus temporal) und Geschlecht ( $F(1, 25) = 4,64, p < 0,041$ ) beeinflusst. Wie Abb. 5.19 verdeutlicht, fanden sich dabei für Frauen längere Latenzen bei Darbietung des Gesichts im nasalen gegenüber dem temporalen Gesichtsfeld. Männer wiesen etwa vergleichbare Latenzen bei nasaler und temporaler Darbietung auf.

Der Vergleich der Latenzen bei rechtsseitiger und linksseitiger Präsentation des Gesichts in den Kontrollbedingungen erbrachte eine weitere Wechselwirkung von Gesichtsfeldort und Geschlecht bei der zweiten Komponente ( $F(1, 25) = 5,55, p < 0,027$ , Abb. 5.20). Auch hier waren für Frauen die gesichtsfeldabhängigen Unterschiede der Latenzen stärker ausgeprägt als für Männer. Frauen zeigten etwa 10 ms längere Latenzen bei Präsentation im linken als im rechten Gesichtsfeld, während die Mittelwerte der Latenzen für Männer in beiden Gesichtsfeldhälften annähernd vergleichbar waren.

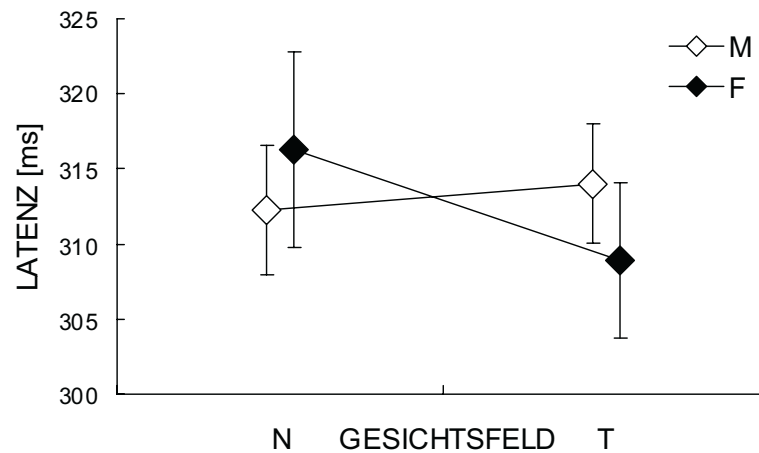


Abbildung 5.19: Latenz der dritten Komponente mit signifikanter Wechselwirkung von Gesichtsfeldort (nasal vs temporal) und Geschlecht, Mittelwerte über 31 Versuchspersonen und SEM. Frauen (F) zeigten längere Latenzen bei Präsentation im nasalen (N) als im temporalen (T) Gesichtsfeld, Männer (M) weisen eine leicht entgegengesetzte Tendenz auf.

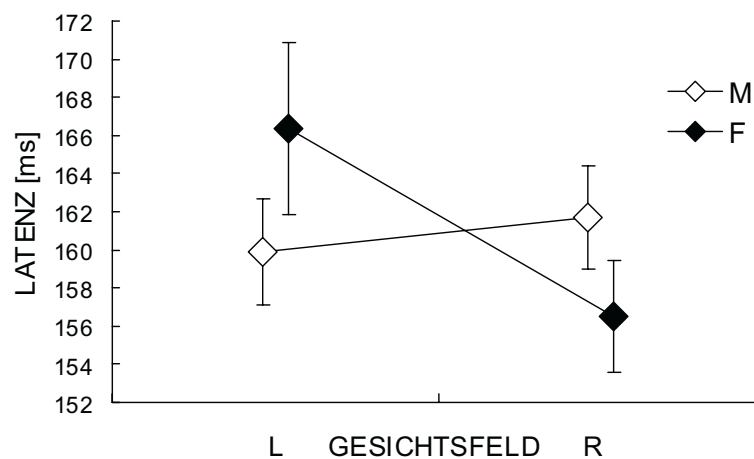


Abbildung 5.20: Latenz der zweiten Komponente mit signifikanter Wechselwirkung von Gesichtsfeldort (links vs rechts) und Geschlecht, Mittelwerte über 31 Versuchspersonen und SEM. Die Latenzen für Frauen (F) und Männer (M) verhalten sich entgegengesetzt bei Darbietung im linken (L) und rechten (R) Gesichtsfeld, wobei die Mittelwerte stärker ausgeprägte Unterschiede bei Frauen zeigen.



# Kapitel 6

## Diskussion

Ziel dieser Arbeit war, die Dynamik der zerebralen Verarbeitung von Gesichtern beim Menschen mit elektrophysiologischen Methoden zu untersuchen. Dabei sollten Einflüsse der Lokalisation im Gesichtsfeld und des emotionalen Ausdrucks überprüft werden.

Als Stimuli dienten einfache, schematische Gesichter, deren Ausdruck als positiv, negativ oder neutral klassifiziert wurde, sowie ein als "scrambled face" bezeichneter Reiz mit zufälliger Anordnung der Gesichtselemente. Für die Wahrnehmung von Gesichtern sind Unterschiede zwischen den Hemisphären beschrieben. Diese zeigen sich in der Auswirkung von Hirnschädigungen, in der Wahrnehmungsleistung gesunder Versuchspersonen sowie bei Untersuchungen mit bildgebenden Verfahren (vgl. Grundlagen - S. 22). Eine gebräuchliche Methode zur Untersuchung von Hemisphärenunterschieden stellt die lateralisierte Reizdarbietung dar. Die vorliegende Untersuchung kombinierte diese mit einer dichoptischen Überlagerung der Reize beider Augen. Beide Hemisphären wurden so mit übereinander projiziertem Gesicht und "scrambled face" stimuliert. Die Versuchspersonen waren aufgefordert, sich zwischen diesen (in physikalischen Parametern vergleichbaren) Reizen in beiden Gesichtsfeldern zu entscheiden. In einer Kontrollbedingung wurden die gleichen Reize in für beide Augen übereinstimmender Anordnung gezeigt, um die Aufmerksamkeit der Versuchspersonen zu überprüfen und deren Wahrnehmungsleistung zu testen.

Die folgende Diskussion der Ergebnisse ist thematisch orientiert. Der erste Abschnitt beschäftigt sich mit den hinsichtlich des emotionalen Ausdrucks gefundenen Effekten. Das Antwortverhalten der Versuchspersonen unter den Bedingungen des binokularen Wettstreits zeigte ein unerwartetes Ergebnis, worauf im Abschnitt "Binokularer Wettstreit und Augendominanz" eingegangen wird. Schließlich werden die in psychophysischen und elektrophysiologischen Parametern gefundenen Geschlechtsunterschiede in einem eigenen Abschnitt diskutiert.

## 6.1 Emotionaler Ausdruck

Gesichter unterschiedlichen emotionalen Ausdrucks wurden in dieser Untersuchung links und rechts im Gesichtsfeld dargeboten. Die Aufgabe der Versuchspersonen beinhaltete jedoch nicht eine bewußte Klassifikation des emotionalen Ausdrucks, dieser wurde nur implizit mitverarbeitet. Diskriminationsleistung und Reaktionszeiten der Versuchspersonen blieben hiervon unbeeinflußt.

Die evozierte Hirnaktivität aller drei untersuchten Zeitbereiche ließ signifikante Einflüsse des emotionalen Ausdrucks erkennen. Sowohl bei der zweiten (130-200 ms) als auch bei der dritten Komponente (280-350 ms) fand sich ein Haupteffekt des emotionalen Ausdrucks auf die GFP mit der höchsten Feldstärke bei negativen Gesichtern. Einflüsse auf die topographische Verteilung ließen sich bei der ersten Komponente (50-100 ms) beim positiven Zentroid in links-rechts-Richtung, außerdem bei der dritten Komponente (280-350 ms) beim negativen Zentroid in links-rechts-Richtung und beim positiven Zentroid in anterior-posterior-Richtung finden. Bei allen diesen Effekten handelte es sich um statistische Wechselwirkungen von Lokalisation (nasales versus temporales Gesichtsfeld) und emotionalem Ausdruck, und in allen Fällen fand sich eine je nach Präsentationsort entgegengesetzte Beeinflussung der Topographie durch negative gegenüber positiven und neutralen Gesichtern.

Somit zeigten sich Einflüsse des emotionalen Ausdrucks in sehr frühen, mittleren und späten Zeitbereichen, die insofern konsistent sind, als sie jeweils ein Abweichen der durch negative Gesichter ausgelösten Hirnaktivität zeigen. Dies fand sich im Einfluß auf die Feldstärke als auch die topographische Verteilung der hirnelektrischen Aktivität. Es lassen sich deshalb zumindest teilweise unterschiedliche Generatoren dieser Aktivität und eine verschiedene Verarbeitung von negativen gegenüber positiven und neutralen Gesichtern annehmen, die sich in elektrophysiologischen Parametern schon sehr früh widerspiegelt.

Eine alternative Erklärung für derart frühe Einflüsse könnte in verschiedenen physischen Merkmalen der Reize wie Mundform oder Augenbrauenstellung gesehen werden. Ein solcher Effekt scheint jedoch sehr unwahrscheinlich, da auch die frühen Effekte übereinstimmend mit den späteren ein Abweichen der negativen sowie geringe Unterschiede zwischen positiven und neutralen Gesichtern zeigen. Physikalische Parameter wie Leuchtdichte oder Kontrast, die Effekte besonders auf frühe VEP-Komponenten haben könnten, wurden in dem Experiment kontrolliert und kommen als Erklärung nicht in Frage. Eine andere mögliche Interpretation könnte eine unterschiedliche emotionale "Intensität" der Stimuli darstellen. In der bei der Vorbereitung des Experiments durchgeführten Beurteilung der Reize erzielten die ausgewählten Gesichter Werte, die auf eine annähernd gleiche Intensität schließen lassen. Um diesen Einfluß jedoch ganz ausschließen zu können, wäre eine zusätzliche Klassifikation durch alle Teilnehmer des Experiments sinnvoll gewesen.

Bisherige Studien, die hirnelektrische Korrelate der Verarbeitung emotionaler Reize untersuchten, fanden überwiegend Effekte in späten Zeitbereichen, einige wiesen darüber hinaus methodische Unvollkommenheiten auf. Große Unterschiede in der Wahl der verwendeten Reize, des experimentellen Paradigmas sowie der Auswertungsmethoden lassen Vergleiche mit unseren Ergebnissen nur bedingt zu.

Kestenbaum & Nelson (1992) verwendeten übereinstimmend mit uns Gesichter, allerdings Fotografien mit dem Ausdruck der primären Emotionen Freude, Angst, Überraschung und Wut. Erwachsene sowie siebenjährige Kinder hatten dabei in einem Oddball-Paradigma entweder auf den Ausdruck der Freude oder Wut zu reagieren. Analysiert wurde eine spät positive, als P300 bezeichnete Komponente (470-900 ms). Bei Erwachsenen fand sich eine höhere Amplitude dieser Komponente (Ohren als Referenz) bei Freude gegenüber Wut als Zielreiz. Diese Ergebnisse sind nicht sehr aussagekräftig, da nur mit 5 Elektroden abgeleitet wurde und nur wenige (10-25) Segmente in die Mittelung eingingen. Aufgrund der geringen Elektrodenzahl ist nicht klar, ob es sich hierbei um topographische oder Effekte der Feldstärke handelt. Derart späte Einflüsse wurden in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht. Bei der von uns verwendeten experimentellen Anordnung und Aufgabe erhielten wir nach mehr als 400 ms keine konsistenten Komponenten in unseren Daten. Darüber hinaus lag unser Interesse mehr auf frühen Einflüssen des emotionalen Ausdrucks.

Carretié et al (1996) kritisierten vorausgegangene Studien, die erhöhte Amplituden der P300 auf emotionale Reize fanden. Sie argumentierten, daß in diesen die emotionale Kategorisierung expliziter Bestandteil der Aufgabe war, was das Verhalten der P300 beeinflussen könnte. Carretié et al. (1996) entwickelten deshalb ein Paradigma, bei dem ähnlich wie in der vorliegenden Arbeit der emotionale Gehalt der Reize aufgabenungebunden verarbeitet werden sollte. Im Gegensatz zu unserer Untersuchung wurden jedoch keine Gesichter, sondern verschiedene andere auf den Dimensionen "Valenz" (positiv-negativ) und "Arousal" (aktivierend-entspannend) unterschiedlich ausgeprägte Stimuli (u.a. Aktfotografien, Landschaften, Gebäude) verwendet. Die Amplitude der P300 (350-450 ms, Nase als Referenz) wies keine signifikanten Effekte des emotionalen Gehaltes auf, es fand sich jedoch eine höhere Amplitude der N300-Komponente (275-325 ms) über parietalen Regionen in Reaktion auf positive gegenüber negativen Reizen. In unserer Untersuchung wurden Komponenten nicht aufgrund von Amplituden einzelner Elektroden sondern in ihrer Feldverteilung erfaßt. Ein direkter Vergleich mit den Ergebnissen von Carretié et al. scheint aufgrund der verschiedenen Reizbedingungen nicht sinnvoll, jedoch fand sich bei unserer dritten, am ehesten der P300 entsprechenden Komponente ein Einfluß des emotionalen Ausdrucks mit der höchsten Feldstärke bei negativen Gesichtern auch bei impliziter Verarbeitung. Dies widerspricht der Hypothese einer nur aufgabenbedingten Veränderung der P300.

Orozco & Ehlers (1998) verwendeten Fotografien von Gesichtern mit neutralem, freudigem oder traurigem Ausdruck, wobei Freude und Trauer wiederum den Zielreiz darstellten. Sie fanden einen Einfluß des emotionalen Ausdrucks in Form einer Beeinflussung der P450-Komponente (Ohren als Referenz) mit größerer Latenz und Amplitude für traurige Gesichter. Jedoch wurden dabei auch längere Reaktionszeiten für Gesichter mit dem Ausdruck der Trauer gefunden. Außerdem wurden das Erkennen dieser Reize von den Versuchspersonen als schwieriger beurteilt, was eine Alternativerklärung der gefundenen Effekte, als durch die größere Schwierigkeit der Aufgabe bedingt, bieten könnte.

Allen bisher aufgeführten Untersuchungen ist gemeinsam, daß sie VEPs nur in wenigen Kanälen registrierten und hinsichtlich Latenz- und Amplitudenveränderungen an einzelnen Lokalisationen auswerteten, die referenzabhängig und nur beschränkt interpretierbar sind. Teilweise wurden anhand von Amplitudendifferenzen zwischen Elektroden Aussagen über generierende Strukturen (Hemisphärenunterschiede) getroffen, die in dieser Weise nicht zulässig sind. In der vorliegenden Arbeit wurde mit der höheren Elektrodendichte die Möglichkeit zur topographischen Erfassung der hirnelektrischen Aktivität gegeben, deren Stärke über die GFP quantitativ und referenzunabhängig erfaßt wurde. Darüber hinaus konnten durch die Berechnung der Zentroide geringe, aber systematische Unterschiede der Feldverteilung erfaßt werden, die anderen Methoden höchstwahrscheinlich entgingen.

In den Auswertungsmethoden unserer Arbeit am ähnlichsten sind Studien von Pizzagalli et al. (1998 und 1999). Dabei wurden den Probanden ohne direkte Aufgabe Gesichter verschiedener psychiatrischer Patienten präsentiert, die danach auf einer Skala als sympathisch bzw. unsympathisch beurteilt werden sollten. Die hirnelektrische Aktivität in Form topographischer Karten wurde verglichen zwischen den jeweils am positivsten und am negativsten beurteilten Gesichtern, sowie zwischen Versuchspersonen mit überwiegend positiver ("Philanthropen") oder negativer ("Misanthropen") Einstellung. Zum topographischen Vergleich dienten nicht wie bei uns positive und negative Zentroide, sondern der elektrische Schwerpunkt in Form des Mittelwertes zwischen der Lokalisation der positiven und negativen Zentroide. Es fand sich für negativ gegenüber positiv beurteilte Gesichter wie für "Misanthropen" gegenüber "Philanthropen" eine stärkere Lateralisierung nach rechts sowie eine Verlagerung des Schwerpunktes nach posterior (gemittelt über ein Intervall von 450 ms nach Reizdarbietung).

In einer zweiten Studie (Pizzagalli et al. 1999) wurde das gleiche Experiment mit lateralisierter Reizdarbietung durchgeführt und somit hemisphärenbezogen stimuliert. Durch die emotionale Einstellung der Versuchspersonen bedingte topographische Unterschiede zeigten sich dabei in ähnlich frühen Zeitbereichen nach Reizdarbietung wie in unserem Experiment abhängig von dem unterschiedlichen emotionalen Ausdruck. Bei Darbietung in linken Gesichtsfeld fanden sich topographische Unter-



schiede in anterior-posterior-Richtung zwischen 80 und 116 ms, bei Präsentation im rechten Gesichtsfeld zwischen 104-160 ms. Neben den experimentellen Unterschieden könnten die von unseren etwas verschiedenen Zeitbereiche durch andere Verfahren zur Erfassung der Komponenten bedingt sein: Bei Pizzagalli et al. wurden diese nicht über die Feldstärke, sondern als Zeitbereiche mit quasistabiler Feldverteilung ermittelt.

Die von uns und von Pizzagalli et al. durchgeführten Experimente sind in gewisser Weise komplementär. Wir untersuchten die Wahrnehmung von positive oder negative Emotionen ausdrückenden Gesichtern. Diese Kategorien wurden vorher bestimmt, während die Einstellung der Versuchspersonen nicht erfaßt wurde. Pizzagalli et al. hingegen argumentierten, daß emotionale Wahrnehmung stark durch die Einstellung der jeweiligen Versuchsperson bestimmt wird. Sie stellten deshalb diese in den Mittelpunkt, ließen hingegen von den verwendeten Gesichtern ausgedrückte Emotionen unberücksichtigt. Ihre Untersuchungen legen eine unterschiedliche emotionale Verarbeitung von primär links- oder rechtshemisphärisch präsentierten Reizen nahe, während unsere Ergebnisse zusätzlich Hinweise auf eine unterschiedliche Verarbeitung emotionaler Stimuli bei Präsentation im nasalen bzw. temporalen Gesichtsfeld geben.

Angesichts der zwischen der vorliegenden Arbeit und den Untersuchungen von Pizzagalli et al. im experimentellen Paradigma bestehenden Unterschiede scheint es um so bemerkenswerter, daß sich Parallelen in den Ergebnissen finden. In beiden Untersuchungen ergaben sich Effekte in ähnlich frühen Zeitbereichen. Außerdem zeigte sich jeweils ein abweichendes oder "extremes" Verhalten der Kategorie "negativ". Diese Ergebnisse legen eine räumlich getrennte zerebrale Verarbeitung positiver und negativer emotionaler Information nahe und sind insofern im Einklang mit Befunden bei Hirnschädigung, wo es zu einer selektiven Beeinträchtigung einer dieser Funktionen kommen kann (Silbermann & Weingartner 1986, Springer & Deutsch 1998). Aussagen über Hemisphärenunterschiede können jedoch anhand unserer Untersuchung nicht getroffen werden. Die nahezu symmetrische Aktivitätsverteilung in allen untersuchten Zeitbereichen spricht für eine kontinuierliche Beteiligung beider Hemisphären. Dabei muß offenbleiben, ob diese gleichermaßen effizient in ihrer Verarbeitung sind.

Ergebnisse wie die hier dargestellten sind ein weiteres Beispiel für einen Widerspruch zu der herkömmlichen Theorie von "exogenen" und "endogenen" Komponenten evozierter Potentiale (vgl. Methodische Grundlagen - S. 15). Im allgemeinen werden Komponenten innerhalb der ersten 100-200 ms als exogen, also vor allem durch physikalische Reizparameter beeinflusst, angesehen. In der von uns durchgeführten Untersuchung zeigte sich jedoch eine unterschiedliche Topographie bedingt durch den emotionalen Ausdruck der Gesichter schon um 80 ms nach Reizdarbietung. Ähnlich frühe Effekte wurden in einem Experiment gefunden, das den Einfluß der semanti-

schen Bedeutung von Wörtern auf die evozierte Hirnaktivität untersuchte (Skrandies 1998). Unterschiede in der Topographie der ersten Komponente (80-130 ms) zeigten sich auch hier vor allem in Abhängigkeit von dem "Bewertungsfaktor" (positiv versus negativ) der Wörter.

Rückschlüsse auf generierende Strukturen sind aufgrund des Oberflächen-EEG nicht eindeutig möglich (vgl. Methodische Grundlagen - S. 20), jedoch die Lokalisation von Potentialgradienten und Wissen über die Anatomie hilft, zu sinnvollen Interpretationen zu kommen. Auch geben die Latenzen vor allem bei frühen Komponenten einigen Aufschluß. Aus Einzelzellableitungen an Affen (Robinson & Rugg 1988, zitiert nach Oram & Perret 1992) oder EEG-Quellenanalysen korreliert mit fMRI (Martinez et al. 1999) ist bekannt, daß Neurone der primären Sehrinde (V1) ca. 50 ms nach Reizdarbietung, extrastriäre Areale nach 70-80 ms aktiviert werden. Die erste von uns untersuchte Komponente könnte demnach Verarbeitung im extrastriären visuellen Kortex widerspiegeln. Eine höhere Aktivierung extrastriärer Areale (gemessen mit PET) bei negativen gegenüber positiven Reizen wurde von Lane et al. (1997) beschrieben. Lang et al. (1998) fanden ebenfalls im fMRI eine stärkere Aktivierung extrastriärer visueller Areale bei emotionalen (positiven und negativen) gegenüber neutralen Reizen. Beide Studien verwendeten keine emotionalen Gesichter, sondern verschiedene andere visuelle Reize. Morris, Friston et al. (1998) untersuchten mittels PET die Aktivierung im Bereich der Amygdala und extrastriärer visueller Kortexareale in Reaktion auf Gesichter, die verschiedene Grade von Furcht oder Freude ausdrückten. In einer Regressionsanalyse zeigte sich hier ein positiver Zusammenhang der Aktivierung in beiden Regionen. Angesichts der Tatsache, daß ausgedehnte Projektionen der Amygdala zu diesen kortikalen Regionen bekannt sind (Amaral & Price 1984, zitiert nach Morris, Friston et al. 1998), wurden die genannten Ergebnisse als Ausdruck einer Beeinflussung visueller Regionen durch die Amygdala interpretiert. Jedoch kann diese Methode an sich keine Ursache-Wirkung-Beziehung aufdecken, da die Reihenfolge der Aktivierungen mit der geringen zeitlichen Auflösung nicht erfaßt wird.

Derartige Funde bestätigen die gegenwärtige Theorie, die der Amygdala eine automatisierte "Überwachungsfunktion" in Bezug auf negative Reize in der Umgebung zuschreibt (LeDoux 1996). Die Ergebnisse von LeDoux stammen vor allem aus Experimenten der Furchtkonditionierung im auditiven System bei Ratten. Die erfolgreiche Furchtkonditionierung war dabei nicht von den auditorischen Bahnen vom Thalamus zum Kortex, wohl aber von direkten thalamischen Projektionen zur Amygdala abhängig: Unterbrechung dieser vom Corpus geniculatum mediale ausgehenden Bahnen unterband die Furchtreaktion (LeDoux 1986, zitiert nach LeDoux 1996). Im visuellen System sind die Verhältnisse weniger geklärt, eine mögliche Entsprechung könnte jedoch ein Pfad vom Colliculus superior über den Thalamus zur Amygdala darstellen, der bei Ratten identifiziert wurde (Linke et al. 1999, zitiert

nach Pizzagalli 1999). Ein solcher Verarbeitungsweg wurde auch durch bildgebende Verfahren beim Menschen wahrscheinlich gemacht: Morris et al. (1999) präsentierten in einer weiteren PET-Untersuchung Gesichter, die zum Teil aversiv konditioniert worden waren, kurzzeitig mit einer Rückwärtsmaskierung. Obwohl die Versuchspersonen nicht in der Lage waren, diese aversiv konditionierten Reize bewußt zu detektieren, wiesen sie erniedrigte Hautwiderstände und eine veränderte Aktivität der Amygdala bei konditionierten gegenüber nicht konditionierten Gesichtern auf. Hierbei fand sich eine positive Kovariation der Aktivität von Amygdala, Colliculus superior und Pulvinar des Thalamus. Dies führte zu dem Schluß, daß an der Verarbeitung visueller emotionaler Reize ohne bewußte Wahrnehmung ähnliche Mechanismen wie beim Phänomen des "Blindsight" beteiligt sein könnten.

Alle diese Untersuchungen sind bemüht, die zerebralen Mechanismen zu klären, die eine schnelle und weitgehend automatisierte Analyse emotional bedeutsamer Information ermöglichen. Die in unserem Experiment schon bei den frühesten VEP-Komponenten nachweisbaren Effekte des emotionalen Ausdrucks könnten ebenfalls Korrelate dieser Prozesse darstellen und erlauben darüber hinaus eine bessere zeitliche Einordnung.

## 6.2 Binokularer Wettstreit und Augendominanz

In der hier vorgestellten Untersuchung wurden Gesichter als Reize in einer binokularen Wettstreitanordnung präsentiert. Wie bereits in den Grundlagen dargestellt, führt die Präsentation verschiedener Reize für beide Augen zu einem spontanen, kaum vorhersagbaren Wechsel beider Bilder in der Wahrnehmung des Betrachters. Für kurze Darbietungsdauern ist jedoch von verschiedenen Autoren eine "abnormale Fusion" ohne Unterdrückung eines der Reize beschrieben (Wolfe 1983).

Bei der in dieser Studie gewählten sehr kurzen und schwellennahen Präsentationsdauer von 28 ms kann man demnach kaum von einer subjektiv wahrgenommenen Dominanz eines Reizes ausgehen. Neu an dieser Studie war, binokularen Wettstreit mit einer lateralisierten, also hemisphärenbezogenen, Darbietung von Gesichtern zu kombinieren. Es wäre demnach zu erwarten gewesen, daß die Reaktion der Versuchspersonen auf die identischen überlagerten Reize in beiden Gesichtsfeldhälften durch Hemisphärenunterschiede in der Verarbeitung von Gesichtern bestimmt würde. Wie im Ergebnisteil dargestellt wurde, zeigte sich jedoch ein anderes Muster. Es ergab sich eine Aufteilung der Versuchspersonen in drei annähernd gleich große Gruppen, deren Reaktion auf die Reize entweder eine rechte, linke oder keine Augendominanz zeigte. Ein Zusammenhang dieser funktionellen Augendominanz mit dem vor dem Experiment bestimmten bevorzugten Auge oder mit Visusunterschieden war nicht erkennbar.

Versuchspersonen, die keine Augendominanz zeigten, wiesen in den Kontrollbedingungen in beiden Gesichtsfeldhälften eine deutlich geringere Diskriminationsleistung auf als Versuchspersonen mit Augendominanz. Die Auswertung der elektrophysiologischen Daten ergab längere Latenzen der dritten Komponente bei Versuchspersonen ohne Augendominanz. Auch bei den Latenzen der ersten und zweiten sowie bei der Topographie der ersten Komponente zeigte sich ein Einfluß der Augendominanz (in Wechselwirkung mit anderen Faktoren wie Gesichtsfeldlokalisation und emotionalem Ausdruck). Alle diese Interaktionen beinhalteten ein je nach Bedingung abweichendes Verhalten von Versuchspersonen ohne Augendominanz gegenüber augendominanten Versuchspersonen. Angesichts der schlechteren Diskriminationsleistung der Versuchspersonen ohne Augendominanz könnte diese Gruppe durch Probanden mit schlechterer Mitarbeit zustandegekommen sein. Die Augendominanz wurde anhand des Antwortverhaltens bestimmt, zufälliges Antwortverhalten könnte demnach zum Fehlen einer Augendominanz führen. Somit könnten die Effekte der hirnelektrischen Aktivität teils durch die Unterschiede in der Wahrnehmungsleistung bedingt sein.

Unsere Daten zeigen bei Darbietungsdauern, die nach Literaturangaben zuverlässig zu "abnormaler Fusion" führen sollten, eine durch das Antwortverhalten der Versuchspersonen bestimmbare Augendominanz. Dieses spricht gegen die von Wolfe (1983) aufgestellte Theorie, wonach der zur Suppression bei binokularem Wettstreit führende Mechanismus bei kurzzeitig präsentierten Reizen noch nicht wirksam wird. Studien, die dieses zeigten und den Begriff der "abnormalen Fusion" prägten, beziehen sich aber überwiegend auf die subjektiven Angaben der Betrachter über eine wahrgenommene Überlagerung oder Dominanz eines Reizes. Wir verwendeten jedoch eine "forced-choice"-Aufgabe und somit objektivere Antwortfassung, was möglicherweise die unterschiedlichen Ergebnisse erklärt.

Ein unseren Befunden ähnlicher Effekt wurde von Kolb & Braun (1995) beschrieben. Hierbei wurden als Reize aus orientierten Elementen zusammengesetzte Muster verwendet, in die jeweils ein Ziel-Reiz mit umgekehrter Orientierung eingebettet war. Spiegelbildliche Anordnungen dieser Muster, beiden Augen kurzzeitig dargeboten, machten den Zielreiz für die Versuchspersonen durch Überlagerung subjektiv unsichtbar. Dennoch wurde dessen Position in einer forced-choice-Aufgabe mit überzufälliger Wahrscheinlichkeit korrekt angegeben. Der Effekt fand sich bei Präsentationsdauern von 100 und 250 ms, die wesentlich länger als die von uns verwendeten sind. Die Autoren interpretierten ihre Ergebnisse als ein Korrelat von "Blindsight" bei gesunden Versuchspersonen. Diese Untersuchung weist wie auch unsere auf Unterschiede zwischen subjektiv wahrgenommener Überlagerung dichoptischer Reize und echter Fusion hin. Offenbar wird auch bei "abnormaler Fusion" der Reize die Unvereinbarkeit der Informationen beider Augen vom Hirn ausgewertet und ist für das Antwortverhalten verfügbar.

In der Literatur wird kontrovers diskutiert, inwieweit die wechselnde Wahrnehmung bei binokularem Wettstreit durch Dominanz eines Auges (oder monokularen rezeptiven Feldes) oder Dominanz einer Reizrepräsentation in der Wahrnehmung bedingt ist (vgl. Grundlagen - S. 21). Für die Dominanz eines Auges spricht, daß dem nicht dominanten Auge präsentierte Testreize weniger gut erkannt werden und längere Reaktionszeiten erfordern, als wenn diese dem dominanten Auge präsentiert werden (Blake 1989). Tauscht man die Reize zwischen den Augen aus und präsentiert somit den vorher unterdrückten Reiz dem dominanten Auge, wird dieser sofort sichtbar (Blake et al. 1979, zitiert nach Lee & Blake 1999). Die Suppression scheint demnach nonselektiv (nicht nur für bestimmte Reizmerkmale) zu wirken. Für Wettstreit zwischen verschiedenen Reizen spricht hingegen, daß Neurone, deren Aktivität mit der wechselnden Wahrnehmung korreliert, überwiegend binokular und in höheren visuellen Arealen zu finden sind (Leopold & Logothetis 1996). In einem Experiment von Logothetis et al. (1996) wurden die rivalisierenden Reize in schneller Folge zwischen den Augen ausgetauscht. Dabei zeigte die Wahrnehmung die gleiche zeitliche Dynamik wie bei statischen Reizen, das heißt, sie blieb trotz der Reizwechsel über längere Zeit konstant. Dies wurde ebenfalls als Beleg für die Dominanz einzelner Reizrepräsentationen bei binokularem Wettstreit interpretiert. Lee & Blake (1999) bestritten dieses jedoch und zeigten, daß eine solche "Reiz-Dominanz" nur in einem beschränkten Bereich verwendeter Reizparameter mit niederem Kontrast und schneller Wechselrate zu finden war.

In unserer Untersuchung wurde bei sehr kurzen Reizdarbietungsdauern das Verhalten der Versuchspersonen durch die wiederholte Dominanz eines Auges bestimmt. Dieses zeigte sich bei jeweils entgegengesetzten Reizanordnungen. Unklar ist bis jetzt, wie diese Augendominanz zu der wahrgenommenen Dominanz bei längeren Darbietungsdauern in Beziehung zu setzen sind. Es könnte geprüft werden, ob sich hierbei entsprechend höhere Dominanzraten für ein Auge finden, oder ein Auge die Tendenz zeigt, zuerst dominant zu werden. Andererseits sind Einflüsse der Reizbedeutung oder Konfiguration auf die Dominanzdauern beschrieben, für ein Gesicht beispielsweise fanden sich längere Dominanzdauern gegenüber einem unstrukturierteren Kontrollreiz (Yu & Blake 1992). Möglicherweise könnten derartige "top-down"-Einflüsse auch bei den von uns verwendeten Reizen bei längerer Darbietungszeit zur Wirkung kommen, und damit einen Einfluß der Hemisphärenspezialisierung in der Wahrnehmung von Gesichtern verdeutlichen.

Ein Einfluß von binokularem Wettstreit auf Parameter der hirnelektrischen Aktivität wurde erstmals von Lansing (1964) beschrieben. Der Reiz eines Auges wurde dabei mit Flimmerlicht einer bestimmten Frequenz überlagert, das zu einer rhythmischen EEG-Antwort der gleichen Frequenz führte. Es fand sich eine periodische Suppression der EEG-Antwort dieser Frequenz in Übereinstimmung mit der wahrgenommenen Unterdrückung dieses Reizes durch das kontralaterale Auge. Brown

& Norcia (1992) entwickelten eine auf steady-state-VEP basierende Methode, mit der die alternierende Dominanz und Suppression der Reize im EEG verfolgt werden konnte. Beiden Augen dargebotene rivalisierende Reize oszillierten dabei mit einer etwas unterschiedlichen zeitlichen Frequenz, und die Antwort auf diese Frequenz wurde durch eine Spektralanalyse aus dem EEG gewonnen. Die Amplituden dieser Signale beider Augen zeigten eine negative Korrelation, Zeitpunkte mit hohen Amplituden des VEP des rechten Auges entsprachen niedrigen Amplituden des linken Auges und umgekehrt. Auch für transiente VEPs wurden Amplitudenreduktionen bei Darbietung unterschiedlicher Reize für die Augen beschrieben (MacKay 1968, Wright et al. 1986, zitiert nach Brown & Norcia 1997).

Bei der von uns gewählten Versuchsanordnung ging es weniger um eine Unterscheidung der EEG-Antworten beider Augen, sondern um einen Vergleich der Parameter der hirnelektrischen Aktivität zwischen für beide Augen unterschiedlicher (Wettstreit) und kongruenter Darbietung (Kontrollen). Dieser Vergleich zeigte in beiden Bedingungen ähnliche Komponenten. Bei Wettstreitdarbietung war die Latenz der ersten Komponente verlängert sowie die GFP aller drei untersuchten Komponenten erniedrigt. Während in den oben zitierten Untersuchungen nur mit wenigen Elektroden abgeleitet wurde und sich Unterschiede in den Amplituden fanden, zeigen unsere Daten eine generell reduzierte Feldstärke. Dieses ist im Einklang mit den Ergebnissen von Hubl (1998). Hierbei wurden steady-state-VEPs auf Schachbrettmuster bei verschiedenen zeitlichen Umkehrfrequenzen verglichen. Dichoptische Reizung mit unterschiedlichen Reversal-Frequenzen für beide Augen führten zu einer Reduzierung der Feldstärke gegenüber binokularer Reizung mit identischen Frequenzen. Unsere Daten verdeutlichen die Gültigkeit dieser Beobachtung auch für transiente VEPs bei Reizung mit dichoptisch präsentierten komplexeren Reizen. Darüber hinaus finden wir, daß die Reduzierung der GFP nicht auf einen kurzen Zeitraum nach Reizdarbietung beschränkt ist, sondern dieser Effekt ist auch nach etwa 300 ms noch sichtbar.

### 6.3 Geschlechtsspezifische Effekte

Geschlechtsspezifische Unterschiede finden in zunehmendem Maße im Bereich der Neurowissenschaften Beachtung. Diese zeigen sich durch unterschiedliche Leistung in kognitiven und sensomotorischen Tests, anatomische Unterschiede sowie im ungleichen Ausmaß der Lateralisierung zerebraler Funktionen. Frauen gelten als überlegen in der Wahrnehmungsgeschwindigkeit, Wortflüssigkeit, der feinmotorischen Koordination sowie beim Rechnen. Für Männer hingegen wurden bessere Leistungen im räumlichen Vorstellungsvermögen (z.B. mentale Rotation), bei zielgerichteten motorischen Fertigkeiten und im mathematischen Schlußfolgern beschrieben (Kimura 1992, zitiert nach Springer & Deutsch 1998). Es sollte jedoch erwähnt werden, daß diese Unterschiede gering sind. Ihr Ausmaß liegt bei derartigen Untersuchungen

etwa bei einem Viertel der Standardabweichung (Springer & Deutsch 1998). Inwiefern solche Effekte Veranlagung oder Umwelteinflüsse widerspiegeln, wird kontrovers diskutiert. Anatomische Unterschiede zeigen sich im erwachsenen Gehirn bei Vermessung der Hemisphären (Wada et al. 1975, Kulynych et al. 1992, zitiert nach Springer & Deutsch 1998). Für Männer fand sich dabei eine Vergrößerung temporaler Anteile der linken gegenüber der rechten Hemisphäre. Frauen wiesen eine derartige Asymmetrie nicht auf. Ähnliche Unterschiede sind bereits am sich entwickelnden Gehirn in utero nachweisbar (de Lacoste et al. 1991) und werden durch den unterschiedlich starken Testosteroneinfluss erklärt. Darüber hinaus fanden sich Geschlechtsunterschiede in Größe oder Morphologie von Anteilen des Corpus callosum (de Lacoste-Utamsing & Holloway 1982, Allen et al. 1991).

Diese unterschiedlich ausgeprägten anatomischen Asymmetrien könnten zum Ausmaß der Lateralisierung zerebraler Funktionen in Beziehung stehen. Hinweise darauf wurden erstmals durch die Folgen neurochirurgischer Eingriffe am Temporallappen von Epilepsiepatienten gegeben (Lansdell 1962, zitiert nach Springer & Deutsch 1998). Die erwarteten Auswirkungen dieser Operation (größere Leistungsdefizite für sprachliche Aufgaben bei Entfernung von Teilen der linken, und für visuell-räumliche Aufgaben bei Entfernung von Teilen der rechten Hemisphäre) fanden sich hier nur für männliche Patienten bestätigt. Ein ähnliches Muster zeigte sich beim Vergleich der Intelligenztestresultate bei Patienten nach links- oder rechtshemisphärischem Apoplex (McGlone 1978, zitiert nach Springer & Deutsch 1998). Bei Männern beeinträchtigte linkshemisphärische Schädigung den sprachlichen IQ stärker als den nichtsprachlichen, rechtshemisphärische Schädigung beeinflusste die nichtsprachlichen Leistungen stärker als die sprachlichen, Frauen zeigten jedoch keinen Effekt der Seite der Läsion. Schließlich wurde eine Metaanalyse älterer Arbeiten über die Auswirkung einseitiger Hirnverletzung durchgeführt (Inglis & Lawson 1981, zitiert nach Springer & Deutsch 1998). Dabei fand sich die Hypothese bestätigt, daß Studien, die signifikante verbale und räumliche Defizite bei jeweils rechts- oder linksseitiger Hirnschädigung berichteten, einen deutlich höheren Anteil männlicher Patienten beinhalteten. Ein Fehlen solcher Ergebnisse war dagegen eher mit einem höheren Frauenanteil der Studien assoziiert.

Die Ergebnisse unserer psychophysischen Messungen bei der Detektion von Gesichtern im rechten oder linken Gesichtsfeld sind mit dem Konzept einer unterschiedlich starken funktionellen Hemisphärenlateralisation bei den Geschlechtern im Einklang. Wir fanden Interaktionen von Gesichtsfeldort und Geschlecht bei der Wahrnehmungsleistung und den Reaktionszeiten. Diese zeigten bei Männern jeweils stärkere Unterschiede (mit einer Überlegenheit des linken Gesichtsfeldes) als bei Frauen. Inwieweit diese Effekte jedoch ein Korrelat unterschiedlich starker Lateralisierung speziell der Wahrnehmung von Gesichtern sind, kann nicht mit Sicherheit beantwortet werden, da wir sehr kurze Darbietungsdauern (28 ms) verwendeten. Für ver-

schiedene Manipulationen, die die Wahrnehmbarkeit von Reizen herabsetzen, wurde eine größere Beeinträchtigung bei linkshemisphärischer (rechtes Gesichtsfeld) als bei rechtshemisphärischer (linkes Gesichtsfeld) Darbietung gefunden. Dies zeigte sich bei Reduktion der Präsentationsdauer, Erhöhung der Exzentrizität, Erhöhung der Komplexität der Reize sowie Maskierung (Übersicht bei Hellige et al. 1984). Diese Ergebnisse stammen vorwiegend aus Experimenten mit Darbietung einzelner Buchstaben oder Buchstabenpaare.

Hellige et al. (1984) fanden bei Aufgabenstellungen, die Gesichter einbezogen, teilweise ein entgegengesetztes Muster: Auf die Wiedererkennung einzelner Gesichter in einem Set von 10 ähnlichen hatte Reduktion der Darbietungsdauer in beiden Gesichtsfeldern den gleichen Effekt. Erhöhung der Exzentrizität führte zu einer größeren Beeinträchtigung für Präsentation im linken Gesichtsfeld. Ein ähnlicher Effekt fand sich bei Überlagerung mit Punktmustern ("Rauschen") bei einer Kurzzeitgedächtnisaufgabe. Eine Kategorisierung des Geschlechtes von Gesichtern wurde durch Überlagerung von "Rauschen" jedoch mehr bei linkshemisphärischer Präsentation eingeschränkt. Diese Ergebnisse zeigen, daß sich die reduzierte Erkennbarkeit je nach Art und Schwierigkeitsgrad des verwendeten Paradigmas unterschiedlich auf die Wahrnehmung von Gesichtern auswirkt. Wir verwendeten schematische Gesichter, die von den Versuchspersonen im rechten oder linken Gesichtsfeld lokalisiert werden sollten. Diese Aufgabe scheint wesentlich einfacher als die von Hellige et al. (1984) gestellten. Darüber hinaus fanden wir keinen Haupteffekt der Gesichtsfeldlokalisation, sondern Interaktionen mit dem Geschlecht der Versuchspersonen. Geschlechtsunterschiede wurden in den oben genannten Arbeiten nicht beschrieben.

Unterschiede elektrophysiologischer Parameter zwischen Männern und Frauen sind sowohl für das Spontan-EEG als auch für evozierte Potentiale beschrieben. Für Frauen zeigten sich höhere Amplituden des Spontan-EEG als für Männer (Erwin et al. 1989, Flor-Henry & Koles 1982, zitiert nach Skrandies et al. 1999). Corsi-Cabrera et al. (1989) fanden eine im Ruhezustand erhöhte interhemisphärische Korrelation im Alpha-Band (an zentralen, parietalen und okzipitalen Elektroden) bei Frauen. Im Vergleich der interhemisphärischen Korrelation in Ruhe und während der Lösung verbaler und räumlicher Aufgaben zeigte sich eine höhere Korrelation zwischen parietalen Elektroden bei Frauen in allen Bedingungen und Frequenzbändern. Dabei trat zusätzlich eine Interaktion von Geschlecht, Aufgabentyp und Frequenzband auf (Corsi-Cabrera et al. 1993). Eine erhöhte interhemisphärische Alpha-Kohärenz (temporal und parietal) bei Frauen gegenüber Männern wurde auch von Beaumont (1978) beschrieben. Dieser Effekt fand sich gleich ausgeprägt bei verbalen und räumlichen Aufgaben. Diese Untersuchungen scheinen ebenfalls eine höhere Konnektivität der Hemisphären und somit geringere funktionelle Spezialisierung bei Frauen nahezulegen.



Für evozierte Potentiale (Schachbrettmuster-Umkehr) wurden ebenfalls erhöhte Amplituden bei Frauen beschrieben. Eine Studie an einer großen Zahl von Versuchspersonen verschiedener Altersgruppen (Emmerson-Hanover et al. 1994) zeigte, daß während der gesamten Lebenszeit Frauen höhere Amplituden als Männer aufweisen. Während die Latenzen im Kindes- und Jugendalter nicht unterschiedlich sind, haben Männer im Erwachsenenalter etwas längere Latenzen als Frauen. Diese und zusätzliche altersspezifische Veränderungen haben Bedeutung für die Auswahl geeigneter Referenzwerte in der klinischen Diagnostik, wo Schachbrettmuster-Umkehr-VEPs eine große Rolle spielen.

Mittels VEPs erfaßbare geschlechtsspezifische Effekte sind jedoch nicht nur bei der sensorischen Verarbeitung einfacher Reize wie Schachbrettmuster nachweisbar. Taylor et al. (1990) beobachteten während der Ausführung verbaler und nonverbaler Gedächtnisaufgaben generell längere Latenzen (auch späterer Komponenten) bei Männern. Außerdem wurden dabei in den Amplituden Interaktionen von Geschlecht, Aufgabe und Elektrodenposition auffällig, die auf topographische Unterschiede hindeuten. Von Skrandies et al. (1999) wurden geschlechtsspezifische Effekte während der Lösung von Kopfrechen- sowie verbalen Anagrammaufgaben erfaßt. Es fand sich dabei eine für Frauen über alle Komponenten zwischen 70 und 1200 ms erhöhte Feldstärke. Außerdem evozierten Anagrammaufgaben stärkere Potentialfelder als Kopfrechenaufgaben, und die GFP-Erhöhung der Frauen war für Anagramme ausgeprägter (signifikante Interaktion). Zusätzlich fanden sich topographische Unterschiede beeinflusst durch Geschlecht, Aufgabentyp und Schweregrad. Diese Effekte waren auf aufgabenspezifische Aktivität beschränkt und wurden bei einfachen VEPs nicht beobachtet.

Unsere elektrophysiologischen Daten zeigen geschlechtsspezifische Effekte auch bei der Wahrnehmung von Gesichtern. GFP-Unterschiede waren hierbei nicht in allen Zeitbereichen, sondern nur bei der dritten Komponente (320 ms) nachweisbar. Wir fanden eine generelle Erhöhung der GFP dieser Komponente bei Frauen unabhängig von der Gesichtsfeldlokalisierung und Präsentationsart. Bei Schachbrettmustern, die im selben Experiment ebenfalls verwendet, aber nicht in diese Arbeit aufgenommen wurden, war dieser Effekt nicht vorhanden. Zusätzlich beobachteten wir einen Einfluß des Geschlechtes auf die Topographie der dritten Komponente sowie je nach Gesichtsfeldort unterschiedliche Effekte der Latenzen. Unsere Daten zeigen somit wie einige der oben genannten Arbeiten keine generell erhöhten Amplituden für Frauen, die durch Unterschiede der Schädeldicke, des Kopfumfangs oder ähnliches erklärt werden könnten. Stattdessen finden wir Effekte, die auf bestimmte Bedingungen oder Komponenten beschränkt sind. Inwieweit diese Effekte die von uns gefundenen Unterschiede der Wahrnehmungsleistung widerspiegeln, ist nicht sicher zu beantworten. Ein einfacher Zusammenhang von höheren Reaktionszeiten und erhöhten Latenzen der Komponenten zum Beispiel fand sich nicht. Darüber hinaus

wurden in anderen Studien (Skrandies et al. 1999, Taylor et al. 1990) elektrophysiologische Effekte auch bei nicht vorhandenen Differenzen in der Leistung zwischen Frauen und Männern gefunden. Es scheinen demnach zusätzliche Unterschiede in der Lösung verschiedener Aufgaben zwischen Frauen und Männern zu bestehen, die durch Messung psychophysischer Parameter allein nicht erfaßt werden.

Von Orozco & Ehlers (1998) wurden ebenfalls durch Gesichter unterschiedlichen emotionalen Ausdrucks (Freude, Trauer, neutral) hervorgerufene VEPs untersucht. Die Aufgabe bestand hier in der Reaktion auf die Gesichter mit dem Ausdruck der Freude bzw. Trauer. Dabei zeigten sich in beiden Bedingungen erhöhte Amplituden der P450-Komponente (Ohren als Referenz) bei Frauen gegenüber Männern. Dies zeigt eine gewisse Ähnlichkeit zu unseren Ergebnissen. Der Effekt wurde jedoch als Ausdruck einer höheren "Sensibilität" von Frauen für emotionale Reize gedeutet. Eine solche Interpretation erhöhter Amplituden auf einen Zielreiz scheint sehr willkürlich. Mit den neutralen Reizen wurde hierbei nicht verglichen und Frauen zeigten keine besseren Leistungen in psychophysischen Parametern. Der Ausdruck der Trauer erwies sich als schwieriger zu erkennen (belegt durch Reaktionszeiten und Einschätzung der Versuchspersonen) und in dieser Bedingung wies die P450-Komponente über alle Versuchspersonen die größten Amplituden und längsten Latenzen auf, was die genannte Interpretation umso fraglicher macht. Unsere Daten zeigen keine Unterschiede der Wahrnehmungsleistung bezogen auf die verschiedenen Emotionen zwischen den Geschlechtern. Ebenso belegen die elektrophysiologischen Ergebnisse keine geschlechtsspezifisch unterschiedliche Verarbeitung des emotionalen Gehaltes der Reize.

In der Literatur sind für Frauen Auswirkungen des menstruellen Zyklus auf die Leistung in verschiedenen kognitiven Tests beschrieben. So schneiden Frauen in der Zyklusmitte besser in verbalen Aufgaben ab, in visuospatialen Aufgaben dagegen besser in Phasen mit niedrigem Hormonspiegel (Kimura & Hampson 1994, zitiert nach Springer & Deutsch 1998). Hormonelle Einflüsse auf die Effekte von Neurotransmittern in verschiedenen Hirnregionen wurden in Tierversuchen gefunden (Kelly et al. 1999). Es wäre denkbar, daß derartige hormonelle Faktoren somit auch Auswirkungen auf Merkmale der hirnelektrischen Aktivität haben, und dann nicht nur zu einer größeren Varianz bei Frauen, sondern auch zu Unterschieden zwischen Männern und Frauen führen könnten. Um darüber nähere Aussagen machen zu können, müßten diese Faktoren jedoch in einer Studie kontrolliert werden, was in unserer Untersuchung nicht erfolgte.

## 6.4 Ausblick

Insgesamt lassen sich bei Betrachtung der Ergebnisse dieser Arbeit folgende Aspekte als wesentlich zusammenfassen: Während eine Vielzahl von Untersuchungen mit verschiedenen Methoden zur visuellen Wahrnehmung von Gesichtern beim Menschen vorliegt, verwendeten wir eine ungewöhnliche Versuchsanordnung mit lateralisierter Präsentation im binokularen Wettstreit. Dabei fanden sich ähnliche Komponenten wie in der Literatur für Gesichter beschrieben. Entgegen unserer Erwartung wurde das Antwortverhalten der Versuchspersonen bei Wettstreitdarbietung nicht durch eine Überlegenheit der rechten Hemisphäre in der Wahrnehmung von Gesichtern bestimmt. Die meisten Versuchspersonen zeigten eine funktionelle Augendominanz, was darauf hinweist, daß auch bei sehr kurzzeitiger Darbietung dichoptischer Reize ein Mechanismus der Suppression zur Wirkung kommt. Dies ist auch mit der bei binokularem Wettstreit beobachteten Reduktion der Feldstärke im Einklang. In folgenden Studien könnten zeitliche Parameter wie z.B. die Darbietungsdauer variiert werden, wobei es sinnvoll wäre, subjektive Wahrnehmungsangaben und forced-choice-Antworterfassung kombiniert zu betrachten. Auch sollte getestet werden, inwieweit mit anderen Reizen in einer vergleichbaren Anordnung das Ergebnis der Augendominanz zu reproduzieren ist.

Eine noch verhältnismäßig geringe Anzahl von Untersuchungen beschäftigte sich mit der Verarbeitung des emotionalen Ausdrucks von Gesichtern. In unserem Experiment beeinflusste der emotionale Gehalt der Gesichter im Gegensatz zu vorausgegangenen Untersuchungen bereits die frühesten VEP-Komponenten. Die dabei gefundenen Effekte zeigten jeweils eine Abhängigkeit vom Gesichtsfeldort (nasal versus temporal), die bisher noch nicht beschrieben wurde. Eine erweiterte Auswertung dieser Daten könnte die unterschiedliche Wahrnehmung der Versuchspersonen in Form der Antwort mitberücksichtigen und damit möglicherweise eine verschiedene Rolle der linken und rechten Hemisphäre näher beleuchten.

Darüber hinaus würde sich als interessanter Ansatzpunkt zukünftiger Studien anbieten, Patienten mit beispielsweise einer Prosopagnosie oder Störung der Emotionswahrnehmung in einem ähnlichen Experiment mit elektrophysiologischen Methoden zu untersuchen. Dies könnte helfen, besser zu verstehen, welche Verarbeitungsstufen dabei betroffen sind.



# Kapitel 7

## Zusammenfassung

Als soziales Lebewesen besitzt der Mensch differenzierte Fähigkeiten zur visuellen Wahrnehmung von Gesichtern. Einen Schwerpunkt dieser Arbeit bildeten Mechanismen der Verarbeitung des emotionalen Ausdrucks von Gesichtern in Abhängigkeit vom Gesichtsfeldort ihrer Präsentation. Dazu wurde lateralisierte Darbietung der Reize mit einer Anordnung im binokularen Wettstreit kombiniert, wodurch eine simultane Stimulation beider Hemisphären mit physikalisch vergleichbaren, dichoptisch überlagerten Reizen erfolgte. Hierbei wurde die Wahrnehmungsleistung mit elektrophysiologischen und psychophysischen Methoden untersucht.

Als Reize dienten schematische Gesichter, die nach ihrem emotionalen Ausdruck als positiv, negativ oder neutral beurteilt worden waren, sowie als Kontrollreiz eine zufällige Anordnung der Gesichtselemente ("scrambled face"). Diese Reize wurden beiden Augen getrennt 28 ms lang 3° rechts und links von einem zentralen Fixationspunkt dargeboten, wobei eine Spiegelkonstruktion die Bilder beider Augen überlagerte. In einer Kontrollbedingung, die Aufmerksamkeit und Diskriminationsleistung der Versuchspersonen überprüfte, war die Anordnung der Reize identisch für beide Augen. Dadurch wurde jeweils in eine Hemisphäre das Gesicht, in die andere das "scrambled face" projiziert. In der Bedingung mit Wettstreitdarbietung dagegen war die Anordnung der Reize für das rechte und linke Auge entgegengesetzt und somit wurden in jeder Gesichtsfeldhälfte beide Stimuli überlagert.

In einer Wahlpflicht-Reaktionszeitaufgabe gaben 31 junge, gesunde Versuchspersonen (19 Frauen, 12 Männer) mit normaler Sehschärfe an, auf welcher Seite der Reiz gesichtsähnlicher aussah. Gleichzeitig wurde das EEG in 30 Kanälen zwischen Inion und 5% anterior von Fz abgeleitet. Die VEPs wurden offline getrennt nach Reizklassen über 800 ms gemittelt und topographisch analysiert.

Bei Darbietung im binokularen Wettstreit ergab das Antwortverhalten der Versuchspersonen Hinweise auf eine funktionelle Augendominanz, die keinen Zusammenhang mit dem Visus oder der Bevorzugung eines Auges zeigte. Die statistische

Analyse dieser Daten erlaubte eine Einteilung der Probanden in drei annähernd gleich große Gruppen (keine Augendominanz, Dominanz des rechten bzw. linken Auges). Präsentation von Halbfeldreizen (Kontrollbedingungen) führte zu signifikanten Wechselwirkungen von Gesichtsfeldlokalisation und Geschlecht der Versuchspersonen sowohl bei der Diskriminationsleistung als auch bei den korrekten Antworten.

Die elektrophysiologischen Daten zeigten drei in allen Bedingungen ähnliche Komponenten mit mittleren Latenzen von etwa 85, 160 und 310 ms. Die Latenz, Feldstärke (GFP) und topographische Verteilung (positive und negative Schwerpunkte) dieser Komponenten wurden in multifaktoriellen Varianzanalysen zwischen den verschiedenen experimentellen Bedingungen und Augendominanzgruppen verglichen.

Für Versuchspersonen, die keine funktionelle Augendominanz aufwiesen, war die Latenz der dritten Komponente gegenüber Versuchspersonen mit Augendominanz verlängert. Darbietung im binokularem Wettstreit führte zu einer Reduktion der GFP aller Komponenten gegenüber den Kontrollbedingungen sowie zu einer Erhöhung der Latenz der frühesten Komponente.

Bei der zweiten und dritten Komponente war jeweils die Feldstärke der durch negative Gesichter evozierten Aktivität am höchsten. Die VEP-Topographie wurde ebenfalls durch die emotionale Ausprägung beeinflusst: Bei der ersten Komponente fanden sich hauptsächlich Unterschiede in rechts-links-Richtung, während die elektrischen Schwerpunkte der dritten Komponente sowohl in rechts-links- als auch in anterior-posterior-Richtung beeinflusst wurden. Alle diese topographischen Effekte zeigten konsistent ein abweichendes Verhalten der Zentroide für Gesichter negativen emotionalen Ausdrucks.

Die bei Darbietung im binokularen Wettstreit gefundene funktionelle Augendominanz steht im Gegensatz zu vorausgegangenen Berichten von einer "abnormalen Fusion" kurzzeitig dargebotener dichoptischer Stimuli. Eine Erklärung hierfür könnte die andere Art der Antwortfassung mittels einer "forced-choice"-Aufgabe bieten. Damit geben unsere Ergebnisse Hinweise auf die Wirksamkeit des binokularen Wettstreits zugrundeliegenden Mechanismus auch bei kurzzeitiger Präsentation und subjektiv wahrgenommener Überlagerung der Reize.

Unsere Daten zeigen Effekte des emotionalen Ausdrucks von Gesichtern auf Parameter visuell evozierter Potentiale bei spontaner, für die Aufgabe nicht relevanter Verarbeitung. Diese Einflüsse sind verglichen mit vorausgegangenen elektrophysiologischen Studien bereits in wesentlich früheren Zeitbereichen nachweisbar. Derartige Ergebnisse sind im Einklang mit einer weitgehend automatisierten, schnellen Analyse emotional bedeutsamer Information, die auch durch Untersuchungen mit anderen Methoden nahegelegt wurde. Aufgrund der hohen zeitlichen Auflösung des EEG ermöglichen die vorliegenden Befunde darüber hinaus eine bessere zeitliche Einordnung dieser Verarbeitungsprozesse.

Teile dieser Arbeit wurden bereits veröffentlicht:

- Eger, E., Jedynak, A., Iwaki, T. & Skrandies, W. (1999)** [abstract] Perception of faces and binocular rivalry: psychophysics and electrophysiology - In abstracts of the 44th meeting of the German Society of Clinical Neurophysiology, Rostock 1999. *Clinical Neurophysiology*, 110 (Suppl. 2), S6
- Eger, E., Jedynak, A., Iwaki, T. & Skrandies, W. (2000)** [abstract] Visual processing of faces and binocular rivalry: psychophysics and electrophysiology - In abstracts of the 8th German EEG/EP mapping meeting, Giessen 1999. *Brain Topography*, 12, 297
- Jedynak, A., Eger, E., Skrandies, W. & Iwaki, T. (2000)** [abstract] Wahrnehmung von Gesichtern bei binokularem Wettstreit: Zusammenhang von Antwortverhalten und evozierter Hirnaktivität - In Abstracts der 45. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Klinische Neurophysiologie, Mainz 2000. *Klinische Neurophysiologie*, 31, 169
- Jedynak, A., Eger, E., Skrandies, W. & Iwaki, T. (2000)** Gesichterevozierte Potentialkarten bei binokularem Wettstreit - Subjektive Wahrnehmung und hirnelektrische Aktivität. Vortrag auf dem 9. Deutschen EEG/EP Mapping Meeting, Gießen, 22.-23. September 2000.
- Jedynak, A., Eger, E. & Skrandies, W. (2001)** [abstract] Different psychophysical responses correlate with topographical differences during binocular rivalry of faces - In Abstracts of the 11th World Congress of the International Society for Brain Electromagnetic Topography, Frankfurt 2000. *Brain Topography*, 13, 236





# Literaturverzeichnis

- Adolphs, R., Tranel, D., Hamann, S., Young, A.W., Calder, A.J., Phelps, E.A., Anderson, A., Lee, G.P. & Damasio, A.R. (1999)** Recognition of facial emotion in nine individuals with bilateral amygdala damage. *Neuropsychologia*, 37, 1111-1117
- Allen, L.S., Richey, M.F., Chai, Y.M. & Gorski, R.A. (1991)** Sex differences in the corpus callosum of the living human being. *Journal of Neuroscience*, 11, 933-942
- Allison, T., McCarthy, G., Nobre, A., Puce, A. & Belger, A. (1994)** Human extrastriate visual cortex and the perception of faces, words, numbers, and colors. *Cerebral Cortex*, 5, 544-554
- Amaral, D.G. (2000)** The anatomical organisation of the central nervous system. In E.R. Kandel, J.H. Schwartz, T.H. Jessel (eds.) *Principles of Neural Science* (4th ed.) (317-336). New York: McGraw-Hill
- Barrett, G., Blumhardt, L.D., Halliday, A.M., Halliday, E. & Kriss, A. (1976)** A paradox in the lateralisation of the visual evoked response. *Nature*, 261, 253-256
- Beaumont, J.G., Mayes, A.R. & Rugg, M.D. (1978)** Asymmetry in alpha coherence and power: effects of task and sex. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 45, 393-401
- Bentin, S., Allison, T., Puce, A., Perez, E. & McCarthy, G. (1996)** Electrophysiological studies of face perception in humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 551-565
- Birbaumer, N. & Schmidt, R.F. (1999)** *Biologische Psychologie* (4. Aufl.). Berlin Heidelberg New York: Springer
- Blair, R.J., Morris, J.S., Frith, C.D., Perret, D.I. & Dolan, R.J. (1999)** Dissociable neural responses to facial expressions of sadness and anger. *Brain*, 122, 883-893

- Blake, R. (1989)** A neural theory of binocular rivalry. *Psychological Review*, 96, 145-167
- Bötzel, K. & Grüsser, O.J. (1989)** Electric brain potentials evoked by pictures of faces and non-faces: a search for "face-specific" EEG-potentials. *Experimental Brain Research*, 77, 349-360
- Breiter, H.C., Etcoff, N.L., Whalen, P.J., Kennedy, W.A., Rauch, S.L., Buckner, R.L., Strauss, M.M., Hyman, S.E. & Rosen, B.R. (1996)** Response and habituation of the human amygdala during visual processing of facial expression. *Neuron*, 17, 875-887
- Brown, R.J. & Norcia, A.M. (1997)** A method for investigating binocular rivalry in real-time with the steady-state VEP. *Vision Research*, 37, 2401-2408
- Carretié, L., Iglesias, J., Garcia, T. & Ballesteros, M. (1996)** N300, P300 and the emotional processing of visual stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 103, 298-303
- Corsi-Cabrera, M., Herrera, P. & Malvido, M. (1989)** Correlation between EEG and cognitive abilities: sex differences. *International Journal of Neuroscience*, 45, 133-141
- Corsi-Cabrera, M., Ramos, J., Guevara, M.A., Arce, C. & Gutiérrez, S. (1993)** Gender differences in the EEG during cognitive activity. *International Journal of Neuroscience*, 72, 257-264
- Desimone, R. (1991)** Face-selective cells in the temporal cortex of monkeys. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3, 1-8
- Emmersen-Hanover, R., Shearer, D.E., Creel, D.J. & Dustman, R.E. (1994)** Pattern reversal evoked potentials: gender differences and age-related changes in amplitude and latency. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 92, 93-101
- Gauthier, I., Skudlarski, P., Gore, J.C. & Anderson, A.W. (2000)** Expertize for cars and birds recruits brain areas involved in face recognition. *Nature Neuroscience*, 3, 191-197
- Gauthier, I. & Tarr, M.J. (1997)** Becoming a "greeble" expert: exploring mechanisms for face recognition. *Vision Research*, 37, 1673-1682
- George, N., Evans, J., Fiori, N., Davidoff, J. & Renault, B. (1996)** Brain events related to normal and moderately scrambled faces. *Cognitive Brain Research*, 4, 65-76

- Gevins, A.S. & Cutillo, B.A. (1995)** Neuroelectric measures of mind. In P.L. Nunez (ed.) *Neocortical dynamics and human EEG rhythms* (304-338). New York Oxford: Oxford University Press
- Hasselmo, M.E., Rolls, E.T. & Baylis, G.C. (1989)** The role of expression and identity in the face-selective responses of neurons in the temporal visual cortex of the monkey. *Behavioural Brain Research*, 32, 203-218
- Haxby, J.V., Hoffman, E.A. & Gobbini, M.I. (2000)** The distributed human neural system for face processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 223-233
- Hellige, J.B., Corwin, W.H. & Jonsson, J.E. (1984)** Effects of perceptual quality on the processing of human faces presented to the left and right cerebral hemispheres. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 90-107
- Hoffmann, K., Skrandies, W., Lehmann, D., Witte, H. & Strobel, J. (1996)** Instantaneous frequency maps, dipole models and potential distributions of pattern reversal-evoked potential fields for correct recognition of stimulated hemiretinae. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 100, 569-578
- Hubl, D. (1998)** *Binokulare Interaktion - globale und topographische Aspekte*. Dissertation, Fachbereich Humanmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen
- Hubl, D., Linden, D., Prvulovic, D., Lanfermann, H., Maurer, K. & Dierks, T. (2000)** Sources of auditory and visually P300 with brainmapping, LORETA and fMRI - In abstracts of the 8th German EEG/EP mapping meeting, Giessen 1999. *Brain Topography*, 12, 299
- Iversen, S., Kupfermann, I. & Kandel, E.R. (2000)** Emotional states and feelings. In E.R. Kandel, J.H. Schwartz, T.H. Jessel (eds.) *Principles of Neural Science* (4th ed.) (982-996). New York: McGraw-Hill
- Jaspers, H.H. (1958)** The ten-twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375
- Jeffreys, D.A. (1989)** A face responsive potential recorded from the human scalp. *Experimental Brain Research*, 78, 193-202
- Jeffreys, D.A. & Tukmachi, E.S.A. (1992)** The vertex positive scalp potential evoked by faces and objects. *Experimental Brain Research*, 91, 340-350
- Kandel, E.R. & Wurtz, R.H. (2000)** Constructing the visual image. In E.R. Kandel, J.H. Schwartz, T.H. Jessel (eds.) *Principles of Neural Science* (4th ed.) (492-506). New York: McGraw-Hill

- Kanwisher, N., McDermott, J. & Chun, M.M. (1997)** The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *Journal of Neuroscience*, 17, 4302-4311
- Kelly, S.J., Ostrowski, N.L. & Wilson, M.A. (1999)** Gender differences in brain and behaviour. *Pharmacology Biochemistry and Behaviour*, 64, 655-664
- Kestenbaum, R. & Nelson, C.A. (1992)** Neural and behavioural correlates of emotion recognition in children and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 54, 1-18
- Klopp, J., Halgren, E., Marinkovic, K. & Nenov, V. (1999)** Face-selective spectral changes in the human fusiform gyrus. *Clinical Neurophysiology*, 110, 676-682
- Kobatake, E. & Tanaka, K. (1994)** Neuronal selectivities to complex object features in the ventral visual pathway of the macaque cerebral cortex. *Journal of Neurophysiology*, 71, 856-867
- Kolb, C. & Braun, J. (1995)** Blindsight in normal observers. *Nature*, 377, 336-338
- Kunst-Wilson, W.R. & Zajonc, R.B. (1980)** Affective discrimination of stimuli that can not be recognized. *Science*, 207, 557-558
- de Lacoste, M.C., Horvath, D.S. & Woodward, D.J. (1991)** Possible sex differences in the developing human fetal brain. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 13, 831-846
- de Lacoste-Utamsing, C. & Holloway, R.L. (1982)** Sexual dimorphism of the human corpus callosum. *Science*, 216, 1431-1432
- Lane, R.D., Reiman, E.R., Bradley, M.M., Lang, P.J., Ahern, G.L., Davidson, R.J. & Schwartz, G.E. (1997)** Neuroanatomical correlates of pleasant and unpleasant emotion. *Neuropsychologia*, 35, 1437-1444
- Lang, P.J., Bradley, M.M., Fitzsimmons, J.R., Cuthbert, B.N., Scott, J.D., Moulder, B. & Nangia, V. (1998)** Emotional arousal and activation of the visual cortex: an fMRI analysis. *Psychophysiology*, 35, 199-210
- Lansing, R.W. (1964)** Electroencephalographic correlates of binocular rivalry in man. *Science*, 146, 1325-1327
- LeDoux, J. (1996)** *The emotional brain*. New York: Simon and Schuster
- Lee, S.-H. & Blake, R. (1999)** Rival ideas about binocular rivalry. *Vision Research*, 39, 1447-1454

- Lehmann, D. & Skrandies, W. (1980)** Reference-free identification of components of checkerboard-evoked multichannel potential fields. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 48, 609-621
- Leopold, D.A. & Logothetis, N.K. (1996)** Activity changes in early visual cortex reflect monkeys' percepts during binocular rivalry. *Nature*, 379, 549-553
- Leopold, D.A. & Logothetis, N.K. (1999)** Multistable phenomena: changing views in perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 3, 254-264
- Levelt, W.J.M. (1966)** The alternation process in binocular rivalry. *British Journal of Psychology*, 57, 225-238
- Logothetis, N.K., Leopold, D.A. & Sheinberg, D.L. (1996)** What is rivalling during binocular rivalry? *Nature*, 380, 621-624
- Lumer, E.D., Friston, K.J. & Rees, G. (1998)** Neural correlates of perceptual rivalry in the human brain. *Science*, 280, 1930-1934
- Martinez, A., Anllo-Vento, L., Sereno, M.I., Frank, L.R., Buxton, R.B., Dubowitz, D.J., Wong, E.C., Hinrichs, H., Heinze, H.J. and Hillyard, S.A. (1999)** Involvement of striate and extrastriate visual cortical areas in spatial attention. *Nature Neuroscience*, 2, 364-369
- Morris, J.S., Friston, K.J., Büchel, C., Frith, C.D., Young, A.W., Calder, A.J. & Dolan, R.J. (1998)** A neuromodulatory role for the human amygdala in processing emotional facial expressions. *Brain*, 121, 47-57
- Morris, J.S., Frith, C.D., Perret, D.I., Rowland, D., Young, A.W., Calder, A.J. & Dolan, R.J. (1996)** A differential response in the human amygdala to fearful and happy facial expressions. *Nature*, 383, 812-815
- Morris, J.S., Öhman, A. & Dolan, R.J. (1998)** Conscious and unconscious emotional learning in the human amygdala. *Nature*, 393, 467-470
- Morris, J.S., Öhman, A. & Dolan, R.J. (1999)** A subcortical pathway to the right amygdala mediating "unseen" fear. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 96, 1680-1685
- Nicholls, J.G., Martin, A.R. & Wallace, B.G. (1995)** *Vom Neuron zum Gehirn*. Stuttgart Jena New York: Gustav Fischer
- Nunez, P.L. (1995)** Quantitative states of neocortex. In P.L. Nunez (ed.) *Neocortical dynamics and human EEG rhythms* (3-67). New York Oxford: Oxford University Press

- Öhman, A. & Soares, J.J. (1994)** "Unconscious anxiety": phobic responses to masked stimuli. *Journal of Abnormal Psychology*, 103, 231-240
- Oldfield, R.C. (1971)** The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113
- Oram, M.W. & Perret, D.I. (1992)** Time course of neural responses discriminating different views of the face and head. *Journal of Neurophysiology*, 68, 70-84
- Orozco, S. & Ehlers, C.L. (1998)** Gender differences in electrophysiological responses to facial stimuli. *Biological Psychiatry*, 44, 281-289
- O'Shea, R.P. (1999)** *Translation of Dutour (1760)* [on-line]. Available: [http://psy.otago.ac.nz:800/r\\_oshea/dutour60.html](http://psy.otago.ac.nz:800/r_oshea/dutour60.html)
- Pilgreen, K.L. (1995)** Physiologic, medical and cognitive correlates of electroencephalography. In P.L. Nunez (ed.) *Neocortical dynamics and human EEG rhythms* (195-248). New York Oxford: Oxford University Press
- Pizzagalli, D., Koenig, T., Regard, M. & Lehmann, D. (1998)** Faces and emotions: brain electric field sources during covert emotional processing. *Neuropsychologia*, 36, 323-332
- Pizzagalli, D., Regard, M. & Lehmann, D. (1999)** Rapid emotional face processing in the human right and left brain hemispheres: an ERP study. *Neuroreport*, 10, 2691-2698
- Poeck, K. & Hacke, W. (1998)** *Neurologie* (10. Aufl.). Berlin Heidelberg New York: Springer
- Puce, A., Allison, T., Gore, J.C. & McCarthy, G. (1995)** Face-sensitive regions in human extrastriate cortex studied by functional MRI. *Journal of Neurophysiology*, 74, 1192-1199
- Rhodes, G. (1985)** Lateralized processes in face recognition. *British Journal of Psychology*, 76, 249-271
- Russel, J.A. (1979)** Affective space is bipolar. *Journal of Personality and Social Psychology*, 37, 345-356
- Sergent, S., Shinsuke, O. & MacDonald, B. (1992)** Functional neuroanatomy of face and object processing. *Brain*, 115, 15-36
- Silberman, E.K. & Weingartner, H. (1986)** Hemispheric lateralization of functions related to emotion. *Brain and Cognition*, 5, 322-353

- Skrandies, W. (1983)** Information processing and evoked potentials: topography of early and late components. *Advances in Biological Psychiatry*, 13, 1-12
- Skrandies, W. (1998)** Evoked potential correlates of semantic meaning - a brain mapping study. *Brain Research: Cognitive Brain Research*, 6, 173-183
- Skrandies, W., Reik, P. & Kunze, C. (1999)** Topography of evoked brain activity during mental arithmetic and language tasks: sex differences. *Neuropsychologia*, 37, 421-430
- Springer, S.P. & Deutsch, G. (1998)** *Linkes Rechtes Gehirn* (4. Aufl.). Heidelberg Berlin: Spektrum Akademischer Verlag
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J. & John, E. (1965)** Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150, 1187-1188
- Taylor, M.J., Smith, M.L. & Iron, K.S. (1990)** Event-related potential evidence of sex differences in verbal and nonverbal memory tasks. *Neuropsychologia*, 28, 691-705
- Wacholtz, E. (1996)** Can we learn from the clinically significant face processing deficits, prosopagnosia and capgras delusion? *Neuropsychology Review*, 6, 203-257
- Walker, P. (1978)** Binocular rivalry: Central or peripheral selective processes? *Psychological Bulletin*, 85, 376-389
- Weiskrantz, L. (1996)** Blindsight revisited. *Current Opinion in Neurobiology*, 6, 215-220
- Whalen, P.J., Rauch, S.L., Etcoff, N.L., McInerney, J.S., Lee, M.B. & Jenike, M.A. (1998)** Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdala activity without explicit knowledge. *The Journal of Neuroscience*, 18, 411-418
- Wolfe, J.M. (1983)** Influence of spatial frequency, luminance, and duration on binocular rivalry and abnormal fusion of briefly presented dichoptic stimuli. *Perception*, 12, 447-456
- Wolfe, J.M. (1986)** Stereopsis and binocular rivalry. *Psychological Review*, 93, 269-282
- Yu, K. & Blake, R. (1992)** Do recognizable figures enjoy an advantage in binocular rivalry? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 1158-1173

- Zimbardo, P.G. (1992)** *Psychologie* (5. Aufl. /bearb. und hrsg. von S. Hoppe-Graff und B. Keller). Berlin Heidelberg New York: Springer



# Abbildungsverzeichnis

2.1	Zytoarchitektonische Rindenfelder nach Brodmann. Nach Nunez, P.L. (1995a) Toward a physics of neocortex. In P.L. Nunez (ed.) <i>Neocortical dynamics and human EEG rhythms</i> (68-132). New York Oxford: Oxford University Press . . . . .	4
2.2	Pyramidenzelle und Synapsen. Nach Iversen, L.L. (1988) Die Chemie der Signalübertragung im Gehirn. In Spektrum der Wissenschaft <i>Gehirn und Nervensystem</i> (20-31). . . . .	5
2.3	Afferente Bahnen des visuellen Systems. Nach Hubel, D.H. & Wiesel, T.N. (1988) Die Verarbeitung visueller Informationen. In Spektrum der Wissenschaft <i>Gehirn und Nervensystem</i> (122-133). . . . .	7
2.4	Parallele Verarbeitungspfade im visuellen System. Nach Kandel, E.R. & Wurtz, R.H. (2000) Constructing the visual image. In E.R. Kandel, J.H. Schwartz, T.H. Jessel (eds.) <i>Principles of Neural Science</i> (4th ed.) (492-506). New York: McGraw-Hill . . . . .	9
2.5	Elektrisches Feld einer Pyramidenzelle. Nach Deetjen, P. & Speckmann, E.J. (Hrsg.)(1992) <i>Physiologie</i> . München Wien Baltimore: Urban & Schwarzenberg . . . . .	13
2.6	Schema Oberflächen-EEG und kortikale Aktivität. Nach Nunez, P.L. (1995b) Quantitative states of neocortex. In P.L. Nunez (ed.) <i>Neocortical dynamics and human EEG rhythms</i> (3-67). New York Oxford: Oxford University Press . . . . .	13
2.7	Schachbrettmuster-Umkehr-VEP für eine okzipitale Elektrode . . . .	15
2.8	Topographische Darstellung des Schachbrettmuster-Umkehr-VEP . .	17
2.9	GFP-Kurve des Schachbrettmuster-Umkehr-VEP . . . . .	18
2.10	Beispielkarten mit Zentroiden . . . . .	19
2.11	Limbisches System. Nach Duus (1990) <i>Neurologisch-topische Diagnostik</i> (5., überarb. Aufl.). Stuttgart New York: Thieme . . . . .	26
4.1	Die verwendeten Reize . . . . .	34
4.2	Schema der Kontrollbedingung . . . . .	35
4.3	Schema der Wettstreitbedingung . . . . .	36
4.4	Technischer Versuchsaufbau . . . . .	38
4.5	Elektrodenanordnung . . . . .	39

5.1	Beispiel Augendominanz . . . . .	44
5.2	Augendominanzgruppen . . . . .	45
5.3	Diskriminationsleistung - Interaktion von Gesichtsfeldort und Geschlecht . . . . .	46
5.4	Reaktionzeiten - Interaktion von Gesichtsfeldort und Geschlecht . . .	47
5.5	Topographische Karten und GFP der Wettstreitbedingung . . . . .	49
5.6	Komponenten für Wettstreit und Kontrollen . . . . .	50
5.7	Latenz der zweiten Komponente - Interaktion von Gesichtsfeldort und Augendominanz . . . . .	51
5.8	Zentroidlokalisation der dritten Komponente - Einfluß des Gesichtsfeldortes . . . . .	52
5.9	GFP der drei Komponenten - Haupteffekt der Darbietungsart . . . . .	53
5.10	Komponenten für negative, neutrale und positive Gesichter . . . . .	55
5.11	Latenz der ersten Komponente - Interaktion von Gesichtsfeldort und Augendominanz . . . . .	56
5.12	GFP der zweiten und dritten Komponente - Haupteffekt des emotionalen Ausdrucks . . . . .	57
5.13	Positive Zentroide der ersten Komponente - Interaktion von Gesichtsfeldort und emotionalem Ausdruck . . . . .	58
5.14	Negative Zentroide der ersten Komponente - Interaktion von Augendominanz und emotionalem Ausdruck . . . . .	59
5.15	Negative Zentroide der dritten Komponente - Interaktion von Gesichtsfeldort und emotionalem Ausdruck . . . . .	60
5.16	Positive Zentroide der dritten Komponente - Interaktion von Gesichtsfeldort und emotionalem Ausdruck . . . . .	60
5.17	Latenz der dritten Komponente - Interaktion von Gesichtsfeldort und emotionalem Ausdruck . . . . .	61
5.18	Zentroidlokalisation der dritten Komponente - Einfluß des Geschlechts	62
5.19	Latenz der dritten Komponente - Interaktion von Gesichtsfeldort und Geschlecht . . . . .	63
5.20	Latenz der zweiten Komponente - Interaktion von Gesichtsfeldort und Geschlecht . . . . .	63
1	Fragebogen zur Reizauswahl . . . . .	98

# Anhang

## Einverständniserklärung der Versuchsperson

Name:

Vorname:

Geburtsdatum:

Hiermit erkläre ich mich einverstanden, an der Studie

*EEG/EP Topographie und Wahrnehmung*

teilzunehmen.

Ich bin aufgeklärt worden über ihr Ziel, die praktische Durchführung, den zu erwartenden Nutzen, die möglichen Risiken und die mit ihr verbundenen Belastungen.

Ich bin darüber informiert worden, daß für den Fall einer Schädigung eine Versicherung abgeschlossen wurde.

Ich bin berechtigt, jederzeit ohne Nachteil aus der Studie auszuscheiden.

Ich bin mit der Verwendung anonymisierter Daten für wissenschaftliche Zwecke einverstanden.

Ich habe keine weiteren Fragen mehr.

Gießen, den

Unterschrift des Probanden

Unterschrift des Versuchsleiters

## Erfassung der Versuchspersonendaten

Versuch:

Datum:

Versuchspersonendaten:

Name:

Vorname:

Geschlecht:

Geburtsdatum:

Straße:

Ort:

Telefon:

bekannte chronische Krankheiten:

Augenoperationen

Wann:

Welche:

Brille / Kontaktlinsen:

Dioptrien

links:

rechts:

Händigkeit:

Bitte geben sie an, mit welcher Hand Sie die folgenden Tätigkeiten hauptsächlich ausführen (bzw. mit welcher Hand Sie die entsprechenden Gegenstände hauptsächlich benutzen):

Schreiben	links ( )	rechts ( )
Zeichnen	links ( )	rechts ( )
Werfen	links ( )	rechts ( )
Schere benutzen	links ( )	rechts ( )
Zahnbürste	links ( )	rechts ( )
Messer (ohne Gabel)	links ( )	rechts ( )
Löffel	links ( )	rechts ( )
Besen (welche Hand ist oben)	links ( )	rechts ( )
Streichholz anzünden	links ( )	rechts ( )
Deckel einer Schachtel öffnen	links ( )	rechts ( )
Mit welchen Fuß treten Sie einen Ball	links ( )	rechts ( )
Mit welchem Auge schauen sie lieber, wenn nur eine Auge verwendet wird	links ( )	rechts ( )

Tabelle 1: Versuchspersonenübersicht

VP	Alter	Geschlecht	Händigkeit (L : R)	Visus links	Visus rechts	bevorzugtes Auge	Augen- dominanz
1	19	weiblich	11 : 01	1.25	1.25	links	links
2	26	männlich	00 : 12	1.5	2	links	links
3	25	weiblich	01 : 11	1	1	links	keine
4	36	weiblich	00 : 12	1	1.25	links	keine
5	27	männlich	00 : 12	1	1.25	links	keine
6	36	männlich	00 : 12	0.68	0.68	links	links
7	22	männlich	01 : 11	2	2	rechts	links
8	39	männlich	00 : 12	1.25	1.6	rechts	rechts
9	26	weiblich	01 : 11	1.25	1.25	links	keine
10	30	männlich	00 : 12	1	1.25	rechts	rechts
11	31	männlich	00 : 12	1.25	1.25	links	links
12	26	männlich	00 : 12	1.25	1.6	rechts	links
13	25	weiblich	00 : 12	1.25	1	rechts	links
14	28	weiblich	02 : 10	1.6	1.25	rechts	links
15	26	männlich	00 : 12	1.25	1.25	rechts	rechts
16	24	männlich	01 : 11	1.6	1.25	rechts	rechts
17	26	männlich	00 : 12	1.25	1.25	rechts	rechts
18	25	männlich	07 : 05	1.6	2	rechts	rechts
19	28	weiblich	01 : 11	1.6	1.6	links	rechts
20	32	männlich	00 : 12	1	1.25	rechts	links
21	29	weiblich	00 : 12	1.25	1.6	rechts	keine
22	27	männlich	00 : 12	1	1	links	keine
23	24	weiblich	00 : 12	1.6	1.6	links	links
24	22	männlich	10 : 02	1.25	1.25	links	rechts
25	24	männlich	02 : 10	1.6	1.25	links	keine
26	21	weiblich	00 : 12	1	1.6	rechts	rechts
27	30	männlich	01 : 11	1.6	1.6	rechts	rechts
28	28	weiblich	07 : 05	1.6	1.25	rechts	links
29	23	weiblich	00 : 12	1.6	1.25	rechts	keine
30	23	männlich	00 : 12	1.6	1.25	rechts	keine
31	30	männlich	02 : 10	1.25	0.8	links	keine

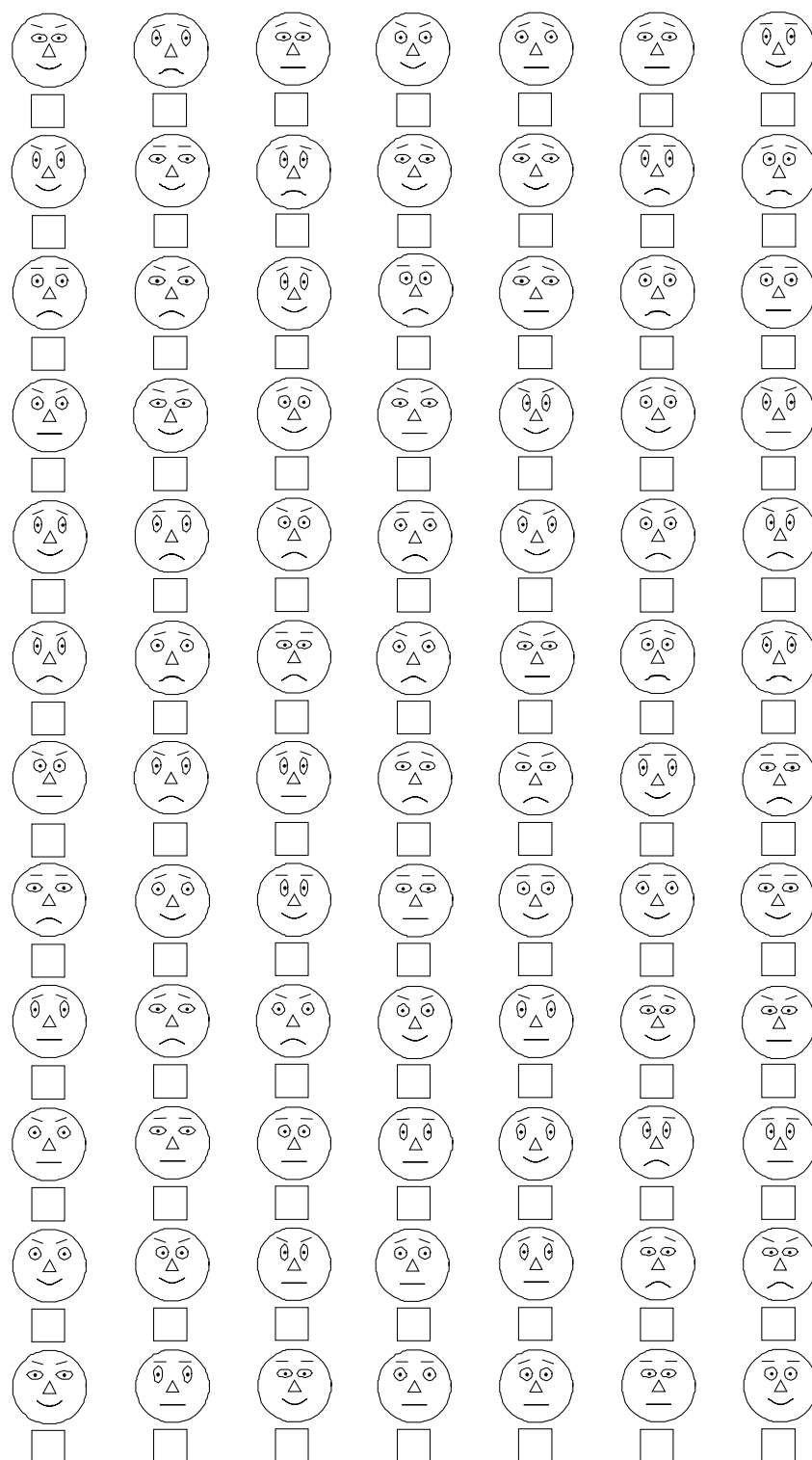


Abbildung 1: Zur Auswahl der Reize wurden die aufgeführten Gesichter in einem Fragebogen auf einer Skala von -3 (am negativsten) über 0 (neutral) bis +3 (am positivsten) beurteilt.

# Dank

Hiermit möchte ich allen danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen und mir während der Zeit ihres Entstehens zur Seite gestanden haben. Besonderer Dank gebührt

Prof. Dr. W. Skrandies für die Überlassung des Themas, die sehr gute Betreuung der Arbeit und die damit verbundene Gelegenheit, Einblicke in das wissenschaftliche Geschehen in einem faszinierenden Fachgebiet zu gewinnen.

Dr. Andreas Jedynak für die sehr gute Einarbeitung und die unzähligen geduldigen Erklärungen, durch die ich auch über diese Arbeit hinaus eine Menge lernen konnte. Die Auswertungssoftware wurde zum großen Teil von ihm programmiert.

Dr. Tatsuya Iwaki für die Mitarbeit an der Entwicklung des Experiments und die Untersuchung der ersten Probanden, deren Daten ich übernehmen konnte.

Der gesamten Gruppe für die angenehme Arbeitsatmosphäre.

Den netten und motivierten Versuchspersonen, mit denen die Messungen viel Spaß machten.

Den festangestellten Mitarbeitern der Physiologie für ihre Unterstützung.

Schließlich danke ich meinen Eltern sowie allen Freunden und Bekannten, die mich während dieser Zeit nicht vergessen haben.

# Lebenslauf

## Zur Person

Name : Andrea Evelyn Eger  
geboren : 05.06.72 in Karl-Marx-Stadt (Chemnitz)  
Familienstand : ledig

## Schulbildung

1979-1989 : Allgemeinbildende Oberschule in Chemnitz  
1989-1991 : Erweiterte Oberschule in Chemnitz

## Hochschulbildung

seit Okt 1991 : Studium der Humanmedizin an der Universität Gießen

## Famulaturen

16.09.95 - 15.10.95 : Orthopädie am Universitätsklinikum Gießen  
15.03.96 - 14.04.96 : Kinder- u. Jugendpsychiatrie an der Klinik Lahnhöhe  
Marburg  
25.02.97 - 24.03.97 : Pädiatrie in der Praxis Staude/Rutz Lollar  
21.04.97 - 20.05.97 : Pädiatrie an der Universitätsklinik Krakau (Polen)  
  
März 1998 : Zweites Staatsexamen  
Mai 1998 - Apr 1999 : Praktischer Teil der Dissertation am Physiologischen  
Institut der Universität Gießen

## Praktisches Jahr

26.04.99 - 15.08.99 : Neurologie am Universitätsklinikum Gießen  
16.08.99 - 05.12.99 : Chirurgie am Universitätsklinikum Gießen  
06.12.99 - 26.03.00 : Innere Medizin am Evangelischen Krankenhaus Gießen  
  
Mai 2000 : Abschluß des Studiums mit Gesamtnote gut  
Juni 2000 - Okt 2000 : Fertigstellung der Dissertation